

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX

Autor: Carlos Torres Nogueras

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

Dep. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX

Autor:
Carlos Torres Nogueras

Tutor:
Francisco Andrés Valderrama Gual
Profesor titular

Dep. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX

Autor: Carlos Torres Nogueras

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis amigos

Resumen

En este trabajo nos centraremos en el famoso caza británico Supermarine Spitfire, de gran importancia para las fuerzas aliadas durante el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial.

Para ello, mostraremos el resultado de nuestra investigación acerca del avión en cuestión y también el proceso de modelado seguido en el software CATIA de cara a la recreación virtual de la aeronave con la mayor fidelidad posible.

| | |
|--|-------------|
| Resumen | ix |
| Índice | xi |
| Índice de Tablas | xiii |
| Índice de Figuras | xv |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Propósito y objetivos | 1 |
| 1.2 Ámbito, alcance y límites | 1 |
| 1.3 Metodología empleada | 2 |
| 2 Estructura del Trabajo | 7 |
| 2.1 Datos de partida | 7 |
| 2.2 Realización del modelado y recreación virtual en CATIA | 7 |
| 2.3 Parte final del documento | 7 |
| 3 Punto de partida. Documentación | 9 |
| 4 Supermarine Spitfire | 13 |
| 4.1 Nacimiento | 13 |
| 4.2 Historia operacional | 15 |
| 4.2.1 Comienzos en la RAF | 15 |
| 4.2.2 Batalla de Inglaterra | 16 |
| 4.2.3 Ofensiva europea (1941-43) | 16 |
| 4.2.4 Servicio en el Mediterráneo | 17 |
| 4.2.5 Asia y el Pacífico | 18 |
| 4.2.6 Día D y posterior | 18 |
| 4.2.7 Servicio en la posguerra | 18 |
| 4.2.8 Marcas | 19 |
| 4.3 Legado y supervivientes | 19 |
| 5 Proceso de modelado en catia | 21 |
| 5.1 Fuselaje | 21 |
| 5.1.1 Metodología seguida con las costillas | 22 |
| 5.1.2 Costilla 11 | 25 |
| 5.1.3 Costilla 5 | 78 |
| 5.1.4 Costilla 6 | 82 |
| 5.1.5 Costilla 8 | 84 |
| 5.1.6 Costilla 9 | 86 |
| 5.1.7 Costilla 10 | 90 |
| 5.1.8 Costilla 12 | 92 |
| 5.1.9 Costilla 13 | 97 |
| 5.1.10 Costilla 14 | 100 |
| 5.1.11 Costilla 15 | 102 |
| 5.1.12 Costilla 16 | 107 |
| 5.1.13 Costilla 17 | 109 |
| 5.1.14 Costilla 18 | 111 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|------------|
| 5.1.15 | Costilla 18a | 113 |
| 5.1.16 | Costilla 19 canted | 116 |
| 5.1.17 | Larguero inferior principal 1 | 120 |
| 5.1.18 | Larguero inferior principal 2 | 122 |
| 5.1.19 | Larguero superior principal | 123 |
| 5.1.20 | Larguero superior 11-12 | 123 |
| 5.1.21 | Larguero lateral principal | 124 |
| 5.1.22 | Largueros laterales | 124 |
| 5.1.23 | Panel instrumentos | 125 |
| 5.1.24 | Pedales | 126 |
| 5.1.25 | Rudder bar y su soporte | 128 |
| 5.1.26 | Joystick | 130 |
| 5.1.27 | Cubierta fuselaje | 133 |
| 5.1.28 | Resultado final | 133 |
| 5.2 | <i>Cowlings</i> | 134 |
| 5.2.1 | Metodología seguida con las secciones | 134 |
| 5.2.2 | Secciones | 135 |
| 5.2.3 | Cubierta | 136 |
| 5.2.4 | Spinner | 139 |
| 5.2.5 | Hélice | 143 |
| 5.2.6 | Resultado final | 147 |
| 5.3 | <i>Canopy</i> | 149 |
| 5.3.1 | Windscreen canopy | 149 |
| 5.3.2 | Sliding hood | 151 |
| 5.3.3 | Resultado final | 152 |
| 5.4 | <i>Cola</i> | 153 |
| 5.4.1 | Fin fuse | 153 |
| 5.4.2 | Estabilizador horizontal | 155 |
| 5.4.3 | Timón de profundidad | 157 |
| 5.4.4 | Timón de dirección | 159 |
| 5.4.5 | Trim tab | 163 |
| 5.4.6 | Resultado final | 163 |
| 5.5 | <i>Ala</i> | 164 |
| 5.5.1 | Estructura principal | 164 |
| 5.5.2 | Alerón | 169 |
| 5.5.3 | Flaps | 172 |
| 5.5.4 | Resultado final | 175 |
| 5.6 | <i>Tren de aterrizaje</i> | 176 |
| 5.6.1 | Tren de aterrizaje fijo | 176 |
| 5.6.2 | Tren de aterrizaje retráctil | 183 |
| 6 | Resultado final | 197 |
| 7 | Conclusiones | 203 |
| 8 | Bibliografía | 205 |

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5-1. Muestra de los puntos del contorno exterior de la costilla 11

27

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1-1. Estructura ramificada avión completo | 3 |
| Figura 1-2. Estructura ramificada fuselaje | 3 |
| Figura 4-1. Supermarine S6, en el morro se aprecia la forma del Spitfire | 13 |
| Figura 4-2. Supermarine 224 | 14 |
| Figura 4-3. Supermarine 300, posteriormente conocido como Spitfire Mk I | 15 |
| Figura 4-4. Los Spitfire del escuadrón 19 de la RAF | 15 |
| Figura 4-5. Formación Spitfire en la Batalla de Inglaterra | 16 |
| Figura 4-6. Formación en V de 3 aviones, la formación usada por los Spitfire | 17 |
| Figura 4-7. Spitfire en HMS Eagle | 17 |
| Figura 4-8. Spitfire derribando bomba V1 | 18 |
| Figura 5-1. Vista general Spitfire Mk IX | 21 |
| Figura 5-2. Fuselaje: Muestra de la tabla de coordenadas de las secciones | 22 |
| Figura 5-3. Imagen explicativa de la interpretación correcta de la tabla de coordenadas | 23 |
| Figura 5-4. Macro <i>GSD_PointSplineLoftFromExcel</i> | 24 |
| Figura 5-5. Ejemplo del uso de GeoGebra (Costilla 18a) | 25 |
| Figura 5-6. Costilla 11 según los planos del libro | 26 |
| Figura 5-7. Costilla 11 en nuestro modelo | 26 |
| Figura 5-8. Sección 11: Sketch correspondiente | 27 |
| Figura 5-9. Sección 11: Perfil extruido con la operación Rib | 28 |
| Figura 5-10. Sección 11 antes y después del taladrado y vaciado | 28 |
| Figura 5-11. Refuerzo superior 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 29 |
| Figura 5-12. Refuerzo lateral 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 30 |
| Figura 5-13. Refuerzo inferior 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 30 |
| Figura 5-14. Barra horizontal 11: Sketch correspondiente | 31 |
| Figura 5-15. Barra horizontal 11 situada correctamente en el conjunto Costilla 11 previa realización de extrusión y vaciado | 31 |
| Figura 5-16. Barra diagonal 11: Sketch y pieza final situada correctamente en el conjunto Costilla 11 previa realización de extrusión y vaciado | 32 |
| Figura 5-17. Head armour 11: Sketch y pieza final situada en el conjunto Costilla 11 tras extrusión y vaciado | 32 |
| Figura 5-18. Shoulder belt seat roller 11: A la izquierda sketch correspondiente a la placa del plano xy y a la derecha el correspondiente a las placas laterales | 33 |
| Figura 5-19. Shoulder belt seat roller 11 sobre la placa armadura previa realización de extrusión y vaciado | 33 |
| Figura 5-20. Seat mounting frame 11: Pad parte principal | 34 |
| Figura 5-21. Seat mounting frame 11: Slot parte principal | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 5-22. Seat mounting frame 11: Multi-sections Solid parte principal | 35 |
| Figura 5-23. Seat mounting frame 11: Pocket.1 parte principal | 35 |
| Figura 5-24. Seat mounting frame 11: Hole parte principal | 36 |
| Figura 5-25. Seat mounting frame 11: Pocket.2 parte principal | 36 |
| Figura 5-26. Seat mounting frame 11: Pad barra superior | 37 |
| Figura 5-27. Seat mounting frame 11: Pocket barra superior | 37 |
| Figura 5-28. Seat mounting frame 11: Mirror barra superior | 38 |
| Figura 5-29. Seat mounting frame 11: Pocket.2 barra superior | 38 |
| Figura 5-30. Seat mounting frame 11: Pocket.3 barra superior | 38 |
| Figura 5-31. Seat mounting frame 11: Pad pieza 1 amortiguador | 39 |
| Figura 5-32. Seat mounting frame 11: Pad.2 pieza 1 amortiguador | 39 |
| Figura 5-33. Seat mounting frame 11: Pocket pieza 1 amortiguador | 40 |
| Figura 5-34. Seat mounting frame 11: Mirror pieza 1 amortiguador | 40 |
| Figura 5-35. Seat mounting frame 11: Pocket.2 pieza 1 amortiguador | 41 |
| Figura 5-36. Seat mounting frame 11: Pieza 2 amortiguador + árbol de operaciones | 41 |
| Figura 5-37. Seat mounting frame 11: Pieza 3 amortiguador + árbol de operaciones | 42 |
| Figura 5-38. Seat mounting frame 11: Rib barra diagonal | 42 |
| Figura 5-39. Seat mounting frame 11: Split barra diagonal | 43 |
| Figura 5-40. Seat mounting frame 11: Pocket barra diagonal | 43 |
| Figura 5-41. Seat mounting frame 11: Union trim barra diagonal | 43 |
| Figura 5-42. Seat mounting frame 11: Pad barra inferior | 44 |
| Figura 5-43. Seat mounting frame 11: Hole barra inferior | 44 |
| Figura 5-44. Seat mounting frame 11: Mirror barra inferior | 44 |
| Figura 5-45. Seat mounting frame 11: Pad pestillo 1 | 45 |
| Figura 5-46. Seat mounting frame 11: Pocket pestillo 1 | 45 |
| Figura 5-47. Seat mounting frame 11: Pocket.2 pestillo 1 | 46 |
| Figura 5-48. Seat mounting frame 11: Hole pestillo 1 | 46 |
| Figura 5-49. Seat mounting frame 11: Pocket.3 pestillo 1 | 47 |
| Figura 5-50. Seat mounting frame 11: Multi-sections Solid pestillo superior 2 | 47 |
| Figura 5-51. Seat mounting frame 11: Pad pestillo superior 2 | 48 |
| Figura 5-52. Seat mounting frame 11: Pad.2 pestillo superior 2 | 48 |
| Figura 5-53. Seat mounting frame 11: Union trim pestillo superior 2 | 49 |
| Figura 5-54. Seat mounting frame 11: Pad sujeción inferior 1 | 49 |
| Figura 5-55. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción inferior 1 | 50 |
| Figura 5-56. Seat mounting frame 11: Pocket.2 sujeción inferior 1 | 50 |
| Figura 5-57. Seat mounting frame 11: Hole sujeción inferior 1 | 51 |
| Figura 5-58. Seat mounting frame 11: Hole.2 sujeción inferior 1 | 51 |
| Figura 5-59. Seat mounting frame 11: Pad sujeción inferior 2 | 52 |
| Figura 5-60. Seat mounting frame 11: Holes sujeción inferior 2 | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 5-61. Seat mounting frame 11: Pad.2 sujeción inferior 2 | 53 |
| Figura 5-62. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción inferior 2 | 53 |
| Figura 5-63. Seat mounting frame 11: Arandela de Dext 48.72 mm y Dint 38.72 mm | 54 |
| Figura 5-64. Seat mounting frame 11: Tuerca, hexágono regular de 22.35 mm y agujero de D 10 mm | 54 |
| Figura 5-65. Seat mounting frame 11: Tornillo | 54 |
| Figura 5-66. Seat mounting frame 11: Pad brazo oscilante superior | 55 |
| Figura 5-67. Seat mounting frame 11: Union trim brazo oscilante superior | 55 |
| Figura 5-68. Seat mounting frame 11: Union trim.2 brazo oscilante superior | 55 |
| Figura 5-69. Seat mounting frame 11: Pocket brazo oscilante superior; Izq D 21 mm/Der D 9.24 mm | 56 |
| Figura 5-70. Seat mounting frame 11: Pad sujeción brazo oscilante superior | 56 |
| Figura 5-71. Seat mounting frame 11: Pad.2 sujeción brazo oscilante superior | 56 |
| Figura 5-72. Seat mounting frame 11: Pad.3 sujeción brazo oscilante superior | 57 |
| Figura 5-73. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción brazo oscilante superior | 57 |
| Figura 5-74. Seat mounting frame 11: Split sujeción brazo oscilante superior | 58 |
| Figura 5-75. Seat mounting frame 11: Pad.4 sujeción brazo oscilante superior | 58 |
| Figura 5-76. Seat mounting frame 11: Holes (D 3.5 mm) sujeción brazo oscilante | 58 |
| Figura 5-77. Seat mounting frame 11: Pad brazo oscilante inferior | 59 |
| Figura 5-78. Seat mounting frame 11: Union trim brazo oscilante inferior | 59 |
| Figura 5-79. Seat mounting frame 11: Pocket brazo oscilante inferior | 60 |
| Figura 5-80. Seat mounting frame 11: Pad sujeción brazo oscilante inferior | 60 |
| Figura 5-81. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción brazo oscilante inferior | 61 |
| Figura 5-82. Seat mounting frame 11: Pad mecanismo altura 1 | 61 |
| Figura 5-83. Seat mounting frame 11: Union trim mecanismo altura 1 | 62 |
| Figura 5-84. Seat mounting frame 11: Pocket mecanismo altura 1 | 62 |
| Figura 5-85. Seat mounting frame 11: Pocket.2 mecanismo altura 1 | 63 |
| Figura 5-86. Seat mounting frame 11: Pad mecanismo altura 2 | 63 |
| Figura 5-87. Seat mounting frame 11: Pocket mecanismo altura 2 | 64 |
| Figura 5-88. Seat mounting frame 11: Pad.2 mecanismo altura 2 | 64 |
| Figura 5-89. Seat mounting frame 11: Pad.3 mecanismo altura 2 | 65 |
| Figura 5-90. Seat mounting frame 11: Pocket.2 mecanismo altura 2 | 65 |
| Figura 5-91. Seat mounting frame 11: Pad barra inferior 2 | 66 |
| Figura 5-92. Seat mounting frame 11: Pad.2 barra inferior 2 | 66 |
| Figura 5-93. Seat mounting frame 11: Pad.3 barra inferior 2 | 67 |
| Figura 5-94. Seat mounting frame 11: Pad.4 barra inferior 2 | 67 |
| Figura 5-95. Seat mounting frame 11: Mirror barra inferior 2 | 68 |
| Figura 5-96. Seat mounting frame 11: Union trim barra inferior 2 | 68 |
| Figura 5-97. Asiento en los planos del libro | 69 |
| Figura 5-98. Asiento: Pad panel lateral | 69 |
| Figura 5-99. Asiento: Pocket panel lateral | 70 |

| | |
|---|----|
| Figura 5-100. Asiento: Multi-sections Solid panel lateral | 70 |
| Figura 5-101. Asiento: Pocket.2 panel lateral | 71 |
| Figura 5-102. Asiento: Pad.2 + Pocket.3 panel lateral | 71 |
| Figura 5-103. Asiento: Pad parte baja | 72 |
| Figura 5-104. Asiento: Pad.2 parte baja | 72 |
| Figura 5-105. Asiento: Pocket.1 + Mirror.1 parte baja | 73 |
| Figura 5-106. Asiento: Pocket.2 + Mirror.2 parte baja | 73 |
| Figura 5-107. Asiento: Shell parte baja | 73 |
| Figura 5-108. Asiento: Pocket.3 parte baja | 74 |
| Figura 5-109. Asiento: Pad respaldo | 74 |
| Figura 5-110. Asiento: Multi-sections Solid respaldo | 75 |
| Figura 5-111. Asiento: Pocket + Mirror respaldo | 75 |
| Figura 5-112. Asiento: Pocket.2 respaldo | 76 |
| Figura 5-113. Asiento: Pad barra rectangular trasera | 76 |
| Figura 5-114. Asiento: Pocket barra rectangular trasera | 77 |
| Figura 5-115. Asiento: Pocket.2 + Mirror barra rectangular trasera | 77 |
| Figura 5-116. Asiento + Estructura de sujeción del asiento reales | 78 |
| Figura 5-117. Asiento + Estructura de sujeción del asiento en el modelado con CATIA | 78 |
| Figura 5-118. Costilla 5: Plano e imagen real | 79 |
| Figura 5-119. Costilla 5 en nuestro modelo | 79 |
| Figura 5-120. Sección 5: Sketch.1 y Sketch.2 correspondientes a las operaciones Pad | 80 |
| Figura 5-121. Sección 5: Sketch.3 y Sketch.4 correspondientes a Pocket y Rib | 80 |
| Figura 5-122. Sección 5 finalizada y detalle del vaciado | 81 |
| Figura 5-123. Parte inferior 5: Perfiles de la segunda operación <i>Pad</i> | 81 |
| Figura 5-124. Parte inferior 5: Parte inferior 5 finalizada | 82 |
| Figura 5-125. Costilla 6 en nuestro modelo | 82 |
| Figura 5-126. Sección 6: Sketch correspondiente a la extrusión | 83 |
| Figura 5-127. Sección 6: Operación de vaciado con Pocket para finalizar | 83 |
| Figura 5-128. Refuerzo inferior 6: Secuencia de actividades en orden correcto | 84 |
| Figura 5-129. Costilla 8: Planos + tabla de cotas | 84 |
| Figura 5-130. Costilla 8 en nuestro modelo | 85 |
| Figura 5-131. Refuerzo inferior 8: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 85 |
| Figura 5-132. Costilla 9: plano | 86 |
| Figura 5-133. Costilla 9 en nuestro modelo | 86 |
| Figura 5-134. Sección 9: Sketch correspondiente a la operación Pad | 87 |
| Figura 5-135. Sección 9 finalizada con la operación de vaciado resaltada | 88 |
| Figura 5-136. Barra horizontal 9: Sketch correspondiente a la operación Pad | 88 |
| Figura 5-137. Barra horizontal 9 finalizada (Pocket resaltado) | 88 |
| Figura 5-138. Barra diagonal 9: Primer sketch y pieza finalizada | 89 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-139. Refuerzos inferiores 9 | 89 |
| Figura 5-140. Refuerzos inferiores 9: cara posterior; se pueden apreciar los de la cara anterior | 90 |
| Figura 5-141. Costilla 10: plano | 90 |
| Figura 5-142. Costilla 10 en nuestro modelo | 91 |
| Figura 5-143. Sección10: Operaciones Pad y Pocket. Pueden apreciarse los diferentes diámetros | 91 |
| Figura 5-144. Refuerzo inferior 10: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 92 |
| Figura 5-145. Costilla 12: plano | 92 |
| Figura 5-146. Costilla 12 en nuestro modelo | 93 |
| Figura 5-147. Sección 12: Sketch de la extrusión | 94 |
| Figura 5-148. Sección 12 finalizada con la operación de vaciado resaltada | 95 |
| Figura 5-149. Refuerzo superior 12: Secuencia de operaciones + pieza final | 96 |
| Figura 5-150. Barra superior 12: Secuencia de operaciones | 96 |
| Figura 5-151. Refuerzo inferior 12: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 97 |
| Figura 5-152. Costilla 13: plano | 97 |
| Figura 5-153. Costilla 13 en nuestro modelo | 98 |
| Figura 5-154. Sección 13: Sketch y pieza final con el vaciado remarcado | 98 |
| Figura 5-155. Refuerzo superior 13: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 99 |
| Figura 5-156. Barra superior 13: Secuencia de operaciones | 99 |
| Figura 5-157. Refuerzo inferior 13: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 100 |
| Figura 5-158. Costilla 14: plano | 100 |
| Figura 5-159. Costilla 14 en nuestro modelo | 101 |
| Figura 5-160. Sección 14: Sketch y pieza final con vaciado remarcado | 101 |
| Figura 5-161. Refuerzo superior 14: Secuencia de operaciones | 102 |
| Figura 5-162. Refuerzo inferior 14: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 102 |
| Figura 5-163. Costilla 15: plano | 103 |
| Figura 5-164. Costilla 15 en nuestro modelo | 103 |
| Figura 5-165. Sección 15: Sketch y pieza final con vaciado resaltado | 104 |
| Figura 5-166. Refuerzo superior 15: Secuencia de operaciones | 105 |
| Figura 5-167. Refuerzo lateral 15: Secuencia de operaciones | 106 |
| Figura 5-168. Refuerzo inferior 15: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 106 |
| Figura 5-169. Costilla 16: plano | 107 |
| Figura 5-170. Costilla 16 en nuestro modelo | 107 |
| Figura 5-171. Sección 16: Sketch y pieza final con vaciado remarcado | 108 |
| Figura 5-172. Refuerzo superior 16: Secuencia de operaciones | 108 |
| Figura 5-173. Refuerzo inferior 16: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 109 |
| Figura 5-174. Costilla 17: plano | 109 |
| Figura 5-175. Costilla 17 en nuestro modelo | 110 |
| Figura 5-176. Refuerzo superior 17: Sketch y pieza final tras extrusión (marcada) y vaciado | 110 |
| Figura 5-177. Refuerzo inferior 17: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado | 111 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-178. Costilla 18: plano | 111 |
| Figura 5-179. Costilla 18 en nuestro modelo | 112 |
| Figura 5-180. Pieza 1 refuerzo superior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket) | 112 |
| Figura 5-181. Pieza 2 refuerzo superior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket) | 113 |
| Figura 5-182. Refuerzo inferior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket) | 113 |
| Figura 5-183. Costilla 18a: plano | 114 |
| Figura 5-184. Costilla 18a en nuestro modelo | 114 |
| Figura 5-185. Sección 18a: Sketch (Pad), Pocket y Slot | 115 |
| Figura 5-186. Refuerzo superior 18a: Secuencia de operaciones (Pad y Pocket) | 115 |
| Figura 5-187. Costilla 19c: plano | 116 |
| Figura 5-188. Costilla 19c en nuestro modelo | 116 |
| Figura 5-189. Sección 19c: Primera operación de vaciado (Pocket.1) | 117 |
| Figura 5-190. Sección 19c: Segunda operación de vaciado (Pocket.2) | 117 |
| Figura 5-191. Sección 19c: Tercera operación de vaciado (Pocket.3) | 118 |
| Figura 5-192. Sección 19c: Cuarto operación de vaciado (Pocket.4) | 118 |
| Figura 5-193. Refuerzo superior 19c: Secuencia de operaciones | 119 |
| Figura 5-194. Refuerzo inferior 19c: Secuencia de operaciones | 119 |
| Figura 5-195. Sujeción larguero inferior principal 19c: Secuencia de operaciones | 120 |
| Figura 5-196. Posición sección central de las costillas del fuselaje según los planos | 120 |
| Figura 5-197. Costillas colocadas en el espacio de acuerdo a los datos que tenemos | 121 |
| Figura 5-198. Guías larguero inferior principal 1 | 121 |
| Figura 5-199. Larguero inferior principal 1: dinámica seguida en secciones y operación Multi-sections Solid | 122 |
| Figura 5-200. Larguero inferior principal 1: Operación Shell y resultado | 122 |
| Figura 5-201. Larguero inferior principal 2 | 122 |
| Figura 5-202. Larguero superior principal: sección característica y resultado final | 123 |
| Figura 5-203. Larguero superior 11-12: sección usada y resultado de la operación Multi-sections Solid | 123 |
| Figura 5-204. Larguero superior 11-12: operación Pad y pieza final tras vaciado interno | 124 |
| Figura 5-205. Larguero lateral principal | 124 |
| Figura 5-206. Largueros laterales: Sección característica y resultado final | 124 |
| Figura 5-207. Planos panel de instrumentos | 125 |
| Figura 5-208. Panel de instrumentos en nuestro modelo | 125 |
| Figura 5-209. Pedales: planos; información de forma, secciones y posición | 126 |
| Figura 5-210. Pedal en nuestro modelo frente a imagen real | 126 |
| Figura 5-211. Pedal: Pieza 1 | 127 |
| Figura 5-212. Pedal: pieza 2 | 127 |
| Figura 5-213. Pedal: Pieza 3 | 127 |
| Figura 5-214. Pedal: pieza 4. A la izquierda vemos remarcado el cilindro vertical | 128 |
| Figura 5-215. Pedal: Pieza 5 | 128 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-216. Pedal: pieza 6. Ala izquierda operación Multi-sections Solid | 128 |
| Figura 5-217. Rudder bar a la izquierda y su soporte a la derecha | 129 |
| Figura 5-218. Rudder bar: Pad parte principal | 129 |
| Figura 5-219. Rudder bar: Pocket parte principal | 129 |
| Figura 5-220. Rudder bar: Pocket.2 parte principal | 130 |
| Figura 5-221. Rudder bar: Pocket.3 parte principal | 130 |
| Figura 5-222. Rudder bar: Pocket.4 parte principal | 130 |
| Figura 5-223. Joystick: plano | 131 |
| Figura 5-224. Joystick: Imágenes del real frente a la recreación en CATIA | 132 |
| Figura 5-225. Cockpit: Real frente a nuestro modelo | 133 |
| Figura 5-226. Fuselaje: imagen real frente al resultado final de nuestro modelo | 134 |
| Figura 5-227. Muestra de la tabla de coordenadas (cowlings) e imagen explicativa de la interpretación correcta | 135 |
| Figura 5-228. Sección 81: Ejemplo de curva guía y perfil en la operación Rib | 135 |
| Figura 5-229. Cowlings: Secciones en nuestro modelo | 136 |
| Figura 5-230. Cubierta cowlings: Superficies extraídas de las secciones y guías utilizadas en su unión | 136 |
| Figura 5-231. Cubierta cowlings finalizada | 137 |
| Figura 5-232. Sección 36'': Secuencia de operaciones para la unión correcta | 137 |
| Figura 5-233. Sección 24'' antes del vaciado: superficie que extraemos | 138 |
| Figura 5-234. Sección 24'': Resultado de la operación Fill | 138 |
| Figura 5-235. Sección 81'': Operación Fill | 139 |
| Figura 5-236. Spinner: Planos acotados y correspondiente tabla de cotas | 140 |
| Figura 5-237. Spinner: Imagen real de la pieza 1 | 140 |
| Figura 5-238. Spinner: Primera parte del modelado de la pieza 1 | 141 |
| Figura 5-239. Spinner: Operaciones Pad, Pocket y Trim del 2º componente de la pieza 1 | 141 |
| Figura 5-240. Spinner: Operación Shell para el 2º componente y pieza 1 finalizada | 142 |
| Figura 5-241. Spinner: Pieza 2 finalizada | 142 |
| Figura 5-242. Spinner: Operaciones Multi-sections Surface y Revolute y pieza final | 143 |
| Figura 5-243. Spinner: Imagen real frente a nuestro modelo | 143 |
| Figura 5-244. Planos hélice y eje transmisor de ésta | 144 |
| Figura 5-245. Hélice: primer paso para el modelado del eje transmisor | 145 |
| Figura 5-246. Hélice: Eje transmisor finalizado | 145 |
| Figura 5-247. Hélice: Operación Multi-sections Solid para la obtención de la pala | 146 |
| Figura 5-248. Hélice: Operaciones para modelar la punta de la pala | 146 |
| Figura 5-249. Hélice: Primera parte de la estructura de fijación de las palas | 147 |
| Figura 5-250. Hélice: Estructura de fijación de las palas finalizada | 147 |
| Figura 5-251. Cowlings: Reproducción virtual del libro frente a nuestro modelo (sin palas) | 148 |
| Figura 5-252. Cowlings: Imagen real del libro frente a nuestro modelo (sin cubierta) | 148 |
| Figura 5-253. Canopy (conjunto completo): planos | 149 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-254. Windscreen: Algunos de los perfiles | 150 |
| Figura 5-255. Windscreen: planos | 150 |
| Figura 5-256. Windscreen en nuestro modelo | 151 |
| Figura 5-257. Sliding Hood: planos | 151 |
| Figura 5-258. Sliding Hood: secuencia del proceso de modelado | 152 |
| Figura 5-259. Sliding Hood en nuestro modelo | 152 |
| Figura 5-260. Canopy: Imágenes reales frente al modelo 3D | 153 |
| Figura 5-261. Fin fuse: perfil utilizado en las operaciones Rib | 154 |
| Figura 5-262. Fin fuse: operaciones Multi-sections Surface y Fill, con guías y secciones marcadas | 154 |
| Figura 5-263. Unión Fin Fuse – Estabilizador horizontal | 155 |
| Figura 5-264. Estabilizador horizontal: Plano y tabla de secciones | 155 |
| Figura 5-265. Estabilizador horizontal: Plano general | 156 |
| Figura 5-266. Estabilizador horizontal: características de la operación Rib | 156 |
| Figura 5-267. Estabilizador horizontal: secciones en el entorno del conjunto | 157 |
| Figura 5-268. Estabilizador horizontal finalizado | 157 |
| Figura 5-269. Timón de profundidad: Plano y tabla de secciones | 158 |
| Figura 5-270. Timón de profundidad: Plano general | 158 |
| Figura 5-271. Timón de profundidad: secciones en el entorno del conjunto | 159 |
| Figura 5-272. Timón de profundidad finalizado | 159 |
| Figura 5-273. Timón de dirección: Standard vs Broad | 160 |
| Figura 5-274. Timón de dirección: Plano y tabla de secciones | 160 |
| Figura 5-275. Timón de dirección: plano general | 161 |
| Figura 5-276. Timón de dirección: operación Rib en detalle | 162 |
| Figura 5-277. Timón de dirección: secciones convenientemente colocadas en el entorno del conjunto | 162 |
| Figura 5-278. Timón de dirección: Imagen real frente a nuestro modelo | 163 |
| Figura 5-279. Trim Tab: piezas finales situadas en la cola | 163 |
| Figura 5-280. Cola: Imagen real frente a nuestro modelo 3D | 164 |
| Figura 5-281. Ala: Planos globales | 165 |
| Figura 5-282. Ala: Pautas de construcción de las costillas | 165 |
| Figura 5-283. Ala: secciones pares | 166 |
| Figura 5-284. Ala: modelado del revestimiento externo | 166 |
| Figura 5-285. Ala: secciones pares e impares más revestimiento | 166 |
| Figura 5-286. Ala: operación Pocket para el alojamiento de largueros | 167 |
| Figura 5-287. Ala: operación de vaciado mencionada | 167 |
| Figura 5-288. Ala: sujeciones alerón y vaciado para el movimiento de los flaps | 168 |
| Figura 5-289. Ala: agujero para tren de aterrizaje retraído | 168 |
| Figura 5-290. Ala: Pieza de sujeción para la estructura del tren de aterrizaje | 169 |
| Figura 5-291. Ala: largueros y detalle del agujero que evita la colisión con un componente el tren de aterrizaje | 169 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-292. Alerón: planos generales | 170 |
| Figura 5-293. Alerón: secciones, a partir de los datos de la estructura alar completa, unidas por Multi-sections Surface | 171 |
| Figura 5-294. Alerón: secciones llenas y revestimiento | 171 |
| Figura 5-295. Alerón finalizado | 171 |
| Figura 5-296. Alerón real | 172 |
| Figura 5-297. Flaps: planos generales | 172 |
| Figura 5-298. Flap interno: planos | 173 |
| Figura 5-299. Flap interno: superficie externa obtenida a partir de sucesivos cortes por Split | 173 |
| Figura 5-300. Flap interno: modelo en CATIA frente a la pieza real | 174 |
| Figura 5-301. Flap externo: planos | 174 |
| Figura 5-302. Flap externo: superficie externa obtenida a partir de sucesivos cortes por Split | 175 |
| Figura 5-303. Flap externo: modelo en CATIA frente a la pieza real | 175 |
| Figura 5-304. Ala: imagen real frente a nuestro modelo | 176 |
| Figura 5-305. Ala: imagen real frente a nuestro modelo (2) | 176 |
| Figura 5-306. Tren de aterrizaje fijo: planos | 177 |
| Figura 5-307. Strut: sucesión de operaciones Pad | 178 |
| Figura 5-308. Strut: secuencia de operaciones para pieza superior | 178 |
| Figura 5-309. Strut: secuencia de operaciones para pieza inferior | 179 |
| Figura 5-310. Yoke: Sucesión de operaciones que nos dan la primera pieza | 179 |
| Figura 5-311. Yoke: Sucesión de operaciones que nos dan la segunda pieza y el sólido final | 180 |
| Figura 5-312. Rueda tren fijo: Secuencia de operaciones para el modelado de la llanta | 180 |
| Figura 5-313. Rueda tren fijo: Remachado llanta | 181 |
| Figura 5-314. Rueda tren fijo: Proceso de modelado del neumático | 181 |
| Figura 5-315. Tren de aterrizaje fijo: Proceso de modelado del agarre 1 | 182 |
| Figura 5-316. Tren de aterrizaje fijo: Características del agarre 2 | 182 |
| Figura 5-317. Tren de aterrizaje fijo: comparación entre imagen real y nuestro modelo | 183 |
| Figura 5-318. Oleo strut: plano | 184 |
| Figura 5-319. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la primera pieza | 185 |
| Figura 5-320. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la segunda pieza | 186 |
| Figura 5-321. Port oleo strut: vaciado de las superficies | 186 |
| Figura 5-322. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la tercera pieza | 187 |
| Figura 5-323. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la cuarta pieza | 187 |
| Figura 5-324. Port axle fitting: secuencia de operaciones para la obtención de la primera pieza | 188 |
| Figura 5-325. Port axle fitting: secuencia de operaciones Pocket para finalizar el componente | 188 |
| Figura 5-326. Port pintle: plano | 189 |
| Figura 5-327. Port pintle: secuencia de operaciones para la obtención de la pieza final | 190 |
| Figura 5-328. Rueda tren de aterrizaje retráctil: plano llanta | 191 |
| Figura 5-329. Rueda tren retráctil: sucesión de operaciones para la llanta | 191 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-330. Rueda tren retráctil: llanta finalizada | 192 |
| Figura 5-331. Rueda tren de aterrizaje retráctil: plano neumático | 192 |
| Figura 5-332. Rueda tren retráctil: neumático finalizado | 193 |
| Figura 5-333. Recubrimiento tren retráctil: plano | 193 |
| Figura 5-334. Recubrimiento tren retráctil: Sketch de la forma en planta | 194 |
| Figura 5-335. Recubrimiento tren retráctil: sucesión de operaciones para obtener la pieza final | 194 |
| Figura 5-336. Tren de aterrizaje retráctil: comparación entre imagen real y nuestro modelo | 195 |
| Figura 5-337. Tren de aterrizaje retráctil: comparación entre imagen real y nuestro modelo | 195 |
| Figura 6-1. Textura del material creado | 197 |
| Figura 6-2. Muestra de detalles del fuselaje | 197 |
| Figura 6-3. Render vistas Spitfire | 198 |
| Figura 6-4. Spitfire real 1 | 199 |
| Figura 6-5. Spitfire CATIA 1 | 199 |
| Figura 6-6. Spitfire real 2 | 200 |
| Figura 6-7. Spitfire CATIA 2 | 200 |
| Figura 6-8. Spitfire real 3 | 201 |
| Figura 6-9. Spitfire CATIA 3 | 201 |

1 INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se lleva a cabo la recuperación digital de patrimonio aeronáutico mediante planos, es decir, el objeto del proyecto será construir un modelo digital mediante la interpretación y uso de una serie de planos de piezas y sus correspondientes instrucciones de construcción.

Hemos de tener en cuenta que la recuperación de patrimonio mediante procesos digitales es una tendencia que se ha ido desarrollando en los últimos años de manera que hoy día disponemos de multitud de técnicas. Estas técnicas nos permiten abarcar proyectos que años atrás eran inviables, destacando especialmente el almacenaje digital (utilizado ampliamente en museos).

En nuestro caso, como hemos dicho anteriormente, trabajaremos con planos detallados de las diferentes piezas que componen la totalidad del avión. Para el diseño de estos componentes y su posterior ensamblaje usaremos el software CATIA V5R19 (Computer-Aided Three dimensional Interactive Application), que es uno de los programas más potentes en materia de diseño, fabricación y análisis industrial. Las razones que nos han llevado a utilizar este software serán tratadas posteriormente en el desarrollo del documento.

El avión que hemos elegido para su modelado y recreación virtual es uno de los cazas más destacados e icónicos de la Segunda Guerra Mundial, el Supermarine Spitfire Mk IX¹, el cual trataremos con detalle en siguientes puntos del trabajo.

1.1 Propósito y objetivos

Podemos diferenciar una serie de objetivos generales asociados a nuestro proyecto y que cubriremos mediante la realización del trabajo. A continuación, mostramos dichos objetivos por orden de prioridad:

- Generar un modelo en 3D del avión Supermarine Spitfire Mk IX con la máxima precisión posible. En dicha tarea estaremos limitados por la información disponible, principalmente documentación gráfica (número de planos y precisión de estos, imágenes detalladas del avión...), así como por nuestro conocimiento y manejo del software utilizado.
- Analizar la metodología empleada a la hora de realizar el modelado y recreación virtual del Spitfire. Para ello expondremos el uso de la herramienta CATIA V5, explicando desde la creación de piezas hasta el ensamblaje de estas.
- Realizar una investigación acerca del avión en cuestión. Para ello estudiaremos el contexto en el que aparece, su papel en la historia, su uso y desaparición y, por último, la huella que ha dejado en el mundo de la aviación.

1.2 Ámbito, alcance y límites

Como hemos mencionado anteriormente, dicho trabajo se centrará en el modelado y la recreación virtual del caza británico Supermarine Spitfire. Por tanto, trabajaremos en el ámbito del diseño 3D asociado al mundo de la aeronáutica, algo que sin duda ha sido de especial motivación en la realización del proyecto, en parte por tratar de forma directa con un avión para poner fin a los estudios del grado en Ingeniería Aeroespacial y también, por el hecho de trabajar con un software muy importante a la hora de acceder al mercado laboral en el mundo de la

¹ El distintivo Mk IX hace referencia a una de las variantes desarrolladas de este caza.

ingeniería.

Por otro lado, antes de abarcar la realización de cualquier proyecto debemos hacer especial hincapié en la profundidad que le vamos a dar al mismo. El alcance del trabajo, como es lógico, estará ligado a las limitaciones que tendremos durante la realización del mismo. Por ello, en un principio, haremos un estudio a grosso modo de todos los inconvenientes o dificultades que prevemos encontrar durante el largo camino que supone el diseño total de la aeronave.

Como punto de partida debemos tener en cuenta que modelar de forma completa y fiel a la realidad un avión de estas características es de una dificultad inmensa, tanto que debería ser objeto de una empresa de ingeniería o varios equipos de ingenieros que hiciesen una correcta división del trabajo. Por ello, se ha acordado con el tutor que trataremos el modelado de la estructura principal de la aeronave, es decir, costillas y cubierta del fuselaje, superficies de control (cola y alas), parte del sistema propulsor (hélice), cabina y trenes de aterrizaje. Dejamos a un lado, el grupo motor, mecanismos de accionamiento (ya sean de tipo hidráulico, fluido-mecánico...) y sistemas eléctricos y electrónicos. Otros detalles asociados a las partes modeladas, así como detalles del interior del fuselaje (por ejemplo, cabina interior) serán añadidos al diseño si disponemos de tiempo suficiente para ello.

1.3 Metodología empleada

Primero, debemos hacer referencia al software usado y cuáles son las razones que nos han impulsado a llevar a cabo el proyecto mediante su uso.

A pesar de que sus comienzos parten de 1977, CATIA adquiere su nombre en 1981 cuando se crea Dassault System, empresa encargada de desarrollar y vender el software. Rápidamente empresas del calibre de Boeing se hicieron con los servicios de este programa que facilitaba el diseño en 3D. Posteriormente el programa se ha ido renovando y se han lanzado nuevas versiones que hoy en día nos permiten controlar multitud de módulos donde destacan el de diseño o el de fabricación.

Desde entonces, multitud de las empresas de ingeniería más importantes del mundo han hecho uso de este software para llevar a cabo sus proyectos y creaciones. Destacan algunas del calibre de Porsche, BMW, Nikon o Nokia. En el ámbito aeroespacial además de Boeing han hecho uso de CATIA algunas de las empresas más destacadas como son Airbus, Bombardier, Embraer o Dassault Aviation.

Por tanto, uno de los principales motivos que nos han llevado a la elección de este software para la ejecución de nuestro proyecto no es otro que su extendido uso por parte de destacadas empresas de ingeniería. En nuestro caso, toma especial importancia el hecho de que Boeing o Airbus, empresas punteras en el ámbito aeronáutico, hagan uso de esta herramienta.

Otras razones de peso para su elección son:

- Disposición de un módulo de superficies muy completo y avanzado, de gran importancia para el diseño de superficies complejas (por ejemplo, las superficies de control de una aeronave).
- Facilidad a la hora de tratar con conjuntos, es decir, hace el ensamblaje de diferentes piezas más intuitivo.
- Experiencia a nivel de usuario adquirida al cursar la asignatura de *Diseño y fabricación asistidos por ordenador*.

Una vez expuestos todos los motivos que hacen que trabajemos con CATIA V5R19, pasamos a analizar la metodología que ha marcado nuestra forma de visualizar y desarrollar el trabajo de fin de grado.

Al tratarse de una máquina tan compleja, formada por un gran número de partes que a su vez están formadas por un sinnúmero de componentes y así de formas sucesiva, nuestra primera tarea será identificar cada conjunto, cada subconjunto y cada pieza.

CATIA nos permite visualizar en todo momento una estructura ramificada en la que podemos localizar cada parte e identificarla con los conjuntos de los que forma parte. De esta manera, debemos introducir cada una de las piezas de forma correcta en el sistema para así conseguir que el movimiento de estas (impuesto a partir de los grados de libertad) sea acorde al sistema o subsistema para el que fue diseñado.

En la imagen que se muestra a continuación podemos observar cómo está estructurado el sistema global, es decir, podemos ver que conjuntos son los encargados de dar forma al avión completo.

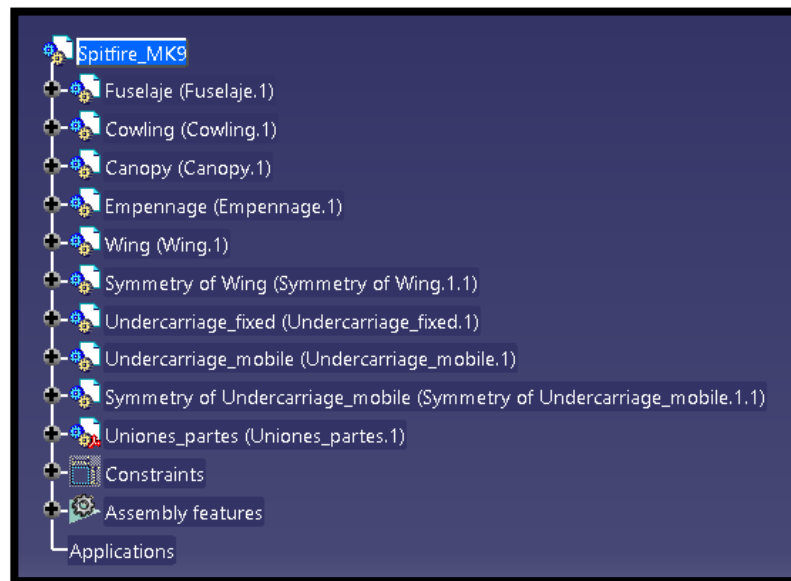


Figura 1-1. Estructura ramificada avión completo

Si nos centramos en uno de estos conjuntos, por ejemplo, el fuselaje, podemos ver como a su vez está formado por una serie de subconjuntos (costillas, cubierta, etc.) y estos a su vez por otros subconjuntos y/o piezas simples (por ejemplo, el caso de la costilla 11 tenemos tanto subconjuntos como piezas).

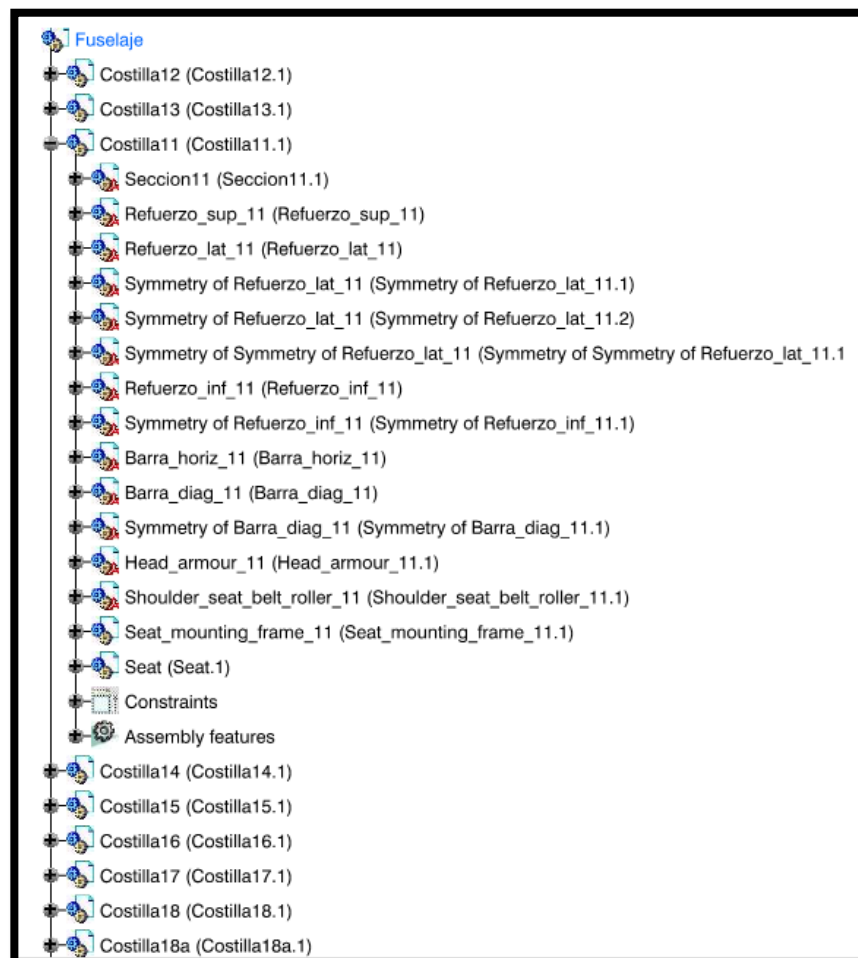





































Figura 1-2. Estructura ramificada fuselaje

En el diseño de cada *Part.CATPart* deberemos hacer uso correcto de un gran número de herramientas disponibles en el módulo de diseño de CATIA (*Mechanical Design/Part Design*) entre las que destacan:







-  **Sketch:** Conexión de curvas o rectas que forman un perfil plano y normalmente cerrado. También usaremos esta herramienta en el módulo de superficies.
-  **Pad:** Extrusión de perfiles cerrados según dirección lineal.
-  **Pocket:** Vaciado por extrusión de un sólido ya creado.
-  **Shaft:** Generación de sólidos mediante revolución de perfil alrededor de un eje de revolución.
-  **Hole:** Taladrado de superficies.
-  **Rib:** Extrusión de perfil sobre una curva guía.
-  **Slot:** Vaciado de perfil sobre una curva guía.
-  **Multi-sections Solid:** Creación de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Removed Multi-sections Solid:** Vaciado de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Edge Fillet:** Realiza redondeos en aristas.
-  **Chamfer:** Realiza chaflanes en las aristas.
-  **Thread/Tap:** Realiza roscado interno o externo alrededor de una superficie cilíndrica.
-  **Split:** Recorte de sólidos con superficies auxiliares.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Circular Pattern:** Repetición de elementos según un patrón circular.
-  **Shell:** Vaciado de sólidos por selección de la cara a eliminar y grosor resultante de pared deseado.
-  **Mirror:** Operación de simetría con respecto a un plano.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la parte sobrante.
-  **Constraint y Constraint Defined in Dialog Box:** Relación entre geometrías en 2D.

Por otro lado, también debemos conocer con detalle algunas de las instrucciones que encontramos en el módulo de superficies (*Shape/Generative Shape Design*), que serán de gran importancia a la hora de modelar todas las cubiertas exteriores.

-  **Extract:** Permite extraer un elemento de otro previamente creado.
-  **Intersection:** Obtención de la intersección de dos elementos.

-  **Multi-Sections Surface:** Creación de superficie a partir de una serie de secciones variables.
-  **Split:** Recorte de superficies o curvas mediante un elemento de corte.
-  **Trim:** Recorte de dos superficies o curvas entre sí.
-  **Helix:** Creación de hélice en una dirección dada.
-  **Extrude:** Creación de superficies regladas por extrusión de contorno o curva bidimensional.
-  **Fill:** Creación de superficies a partir de contornos cerrados.
-  **Blend:** Creación de superficie de conexión entre dos elementos alámbricos.
-  **Join:** Unión de superficies adyacentes.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la parte sobrante.

Tal y como hemos mencionado anteriormente, una parte fundamental de la metodología que llevamos a cabo es relacionar de forma correcta las diferentes partes que componen un sistema o mecanismo (coincidencia de ejes, ángulos entre caras, distancia entre planos...) para así conseguir una aeronave en las que todas las piezas realicen movimientos de forma correcta. Aquí vemos algunas de las herramientas de las que disponemos:

-  **Fix:** Fija un elemento y en torno a este se van fijando los grados de libertad de los demás.
-  **Coincidence:** Coincidencia entre ejes.
-  **Contact:** Contacto de caras.
-  **Offset:** Distancia entre caras.
-  **Fix together:** permite fijar un elemento a otro.
-  **Angle:** Ángulo entre caras, permite establecer paralelismo o perpendicularidad.

2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Una vez expuestos temas de gran importancia en el desarrollo del proyecto como son los objetivos que se desean cumplir, el ámbito de trabajo, el grado de profundidad o la metodología empleada, pasamos a tratar cual es la estructura que seguirá de ahora en adelante el documento (que actúa como guía y memoria del modelo digital realizado).

Para establecer la estructura y orden de los datos y partes del Trabajo Fin de Grado nos basamos en la *Normativa de los Trabajos Fin de Grado* de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

2.1 Datos de partida

Primero hablaremos de la obtención de la documentación de partida, es decir, el primer paso que se da desde la propuesta del trabajo de fin de grado al tutor hasta que se concluye el tema a tratar y, por tanto, comienza la realización del mismo.

Este proceso, fundamentalmente de investigación y búsqueda exhaustiva de información y planos, finalmente nos lleva a trabajar con el Supermarine Spitfire.

Una vez que se pone de manifiesto cual es la documentación y los planos de los que disponemos, así como su procedencia y profundidad, pasamos a hablar de la aeronave en cuestión, es decir, analizaremos la historia de este caza de guerra y todo lo que le rodea.

2.2 Realización del modelado y recreación virtual en CATIA

A continuación, llegamos a la parte principal del trabajo, es decir, aquella en que explicamos, con el nivel de detalle requerido, como se ha ido realizando el modelado de las diferentes piezas que componen el avión (y su correspondiente comparación con la pieza real en cuestión), así como el ensamblaje entre unas y otras que tiene como objeto el producto final.

2.3 Parte final del documento

Por último, en esta parte cerramos la redacción de la memoria mediante las conclusiones que extraemos de la realización del trabajo, así como su posible continuación en un futuro, y la bibliografía utilizada.

3 PUNTO DE PARTIDA. DOCUMENTACIÓN

Tras proponer al tutor la realización de un proyecto basado en el modelado y la recreación virtual de una aeronave, da comienzo la primera parte de todo trabajo de esta índole, la búsqueda de planos que nos permitan su realización. Nos planteamos tres opciones, que mostramos a continuación por orden de prioridad:

- En principio, la idea era movernos en los primeros años del desarrollo de la aviación, donde destacaban especialmente los aviones que participaron en la Primera Guerra Mundial (biplanos o triplanos con estructura de aluminio recubierta de tela).
- Como segunda opción teníamos cazas de la Segunda Guerra Mundial, más complejos, haciendo que el proceso de modelado sea más difícil y más lento.
- Como última alternativa, algún avión comercial. Opción remota, puesto que, al tratarse de aviones de grandes dimensiones (para el transporte de pasajeros) el número de piezas aumenta considerablemente haciendo del diseño un proceso muy laborioso.

Con estas tres ideas en mente, comenzamos la búsqueda de planos utilizando internet como fuente. Los resultados obtenidos no fueron muy esperanzadores, ya que en gran medida se trataba de planos de aeromodelismo que, por tanto, difieren del modelo real (no acotados y con bajo nivel de detalle).

Por este motivo, ampliamos el rango de búsqueda contactando a diferentes asociaciones y museos. A continuación, mostramos una lista de aquellos que nos dieron una respuesta.

- **Museo Aeronáutico de Málaga:** Facilita manuales de vuelo del Douglas DC3 de 1945, sin mucho detalle para la construcción, y manual de mantenimiento del Convair 440, con detalles sobre formas y medidas. Ofrecimiento de visita al museo para realizar copia digital del manual elegido, o bien, envío a Sevilla.
- **Museo del Aire de Madrid / Archivo histórico del Ejército del Aire:** Envío de planos del CASA Breguet XIX y Bücker BÜ-131. No obstante, se trata de planos de vistas generales del avión, poco detallados para el proyecto desarrollado.
- **Blogs y webs dedicadas al modelado en 3D:** Envío de planos del aeroplano-monoplano “Causarás”. Igualmente con bajo nivel de detalle.
- **Asociaciones dedicadas a la recuperación de patrimonio aeronáutico mediante proyectos de construcción de aeronaves:** Entre ellas el Club de Vuelo Deportivo Yvytu, encargado de la reconstrucción del Deperdussin modelo B de 1912, cuya respuesta a la facilitación de planos fue negativa.
- **Particulares aficionados al aeromodelismo:** Facilitan manuales de mantenimiento del A380 y blueprints del Fokker DR1.

Cabe destacar que iniciamos contactos con otros muchos organismos que, o bien, no nos dieron respuesta alguna o que nos ofrecían planos previo pago de cantidades no asumibles.

Simultáneamente continuamos la búsqueda por internet donde, acotando aún más los criterios de búsqueda, encontramos esta vez resultados más satisfactorios, mayoritariamente libros:

- **Model Airplane News: the Best of Wylam (Books 1, 2, 3 & 4):** Planos de múltiples aeronaves desde su aparición hasta la Segunda Guerra Mundial. Especialmente útiles los planos correspondientes a algunos aviones de la Primera Guerra Mundial.

- **Scale Aircraft Drawings (WWI & WWII):** Similar al anterior.
- **Spitfire Mk. IX & XVI Engineered by Paul H. Monforton:** Libro detallado de 432 páginas dedicadas exclusivamente al icónico caza británico, entre las que figuran 133 páginas de planos acotados.

Por tanto, llegamos a un punto de inflexión donde, con toda la información recopilada, debemos descartar aquella que no nos satisface y quedarnos con las opciones que nos ofrecen mayores expectativas en cuanto al diseño 3D. Eliminamos toda opción que carezca de un alto nivel de detalle en los planos y otras, como es el caso del A380, por el nivel de dificultad que implica una aeronave de esa magnitud, tratándose de una de las mayores obras de ingeniería del actual siglo. Nuestras alternativas son:

- Modelado de aeronaves de la Primera Guerra Mundial a partir de los libros “the Best of Wylam” o “Scale Aircraft Drawings”. En particular, Bristol F.2B, Chance Vought VE-7, DeHavilland D.H.4 o Sopwith Camel que se muestran con alto nivel de especificación.
- Modelado del Convair 440, cuyo manual de mantenimiento nos facilita el Museo Aeronáutico de Málaga. Pese a ser un avión comercial de la década de los 50, no era muy grande (de hecho sólo podía albergar unos 50 pasajeros).
- Modelado del Supermarine Spitfire Mk IX, aparentemente una apuesta laboriosa y difícil tras una primera vista del libro. No obstante, goza de los planos con mayor nivel de detalle, aparte de una documentación gráfica basada en fotografías muy extensa.
- Modelado de la Estación Espacial Internacional. Se trata de una alternativa que rompe con el tema propuesto, pero que no obstante tenemos en cuenta, puesto que, contamos con planos detallados y acotados de todos los módulos de la estación descargados de la web de la NASA.

Finalmente apostamos por el modelado y recreación virtual del Spitfire Mk IX tras la adquisición del libro de Paul H. Monforton en su versión digital PDF². Lo que más destaca de este libro es su meticulosa organización por capítulos que sin duda nos ayudará a distribuir por partes el diseño del avión. Estos son:

1. Introduction
2. Fuselage
3. Cowlings
4. Wing Fillet
5. Canopy
6. Empennage
7. Wing
8. Undercarriage
9. Cockpit

Incluye dibujos técnicos realizados a partir de planos de fabricación originales, que serán en gran parte la base del proyecto. Se trata de un hallazgo de gran importancia, puesto que, inclinó la balanza a favor del Supermarine Spitfire, para el que sabíamos que necesitábamos un alto nivel de documentación.

Complementamos la información a través de otros libros de ilustraciones de esta aeronave y páginas webs con proyectos de construcción del caza para exposiciones, coleccionistas e incluso, exhibiciones en clubs de vuelo:

- **Aero Detail 27 Vicker-Supermarine Spitfire Mk V-XVI:** Documentación gráfica impresionante de cada una de las partes del avión. La gran cantidad de información que aporta lo hace un complemento perfecto de nuestra principal guía.
- **SAM Modellers - The Supermarine Spitfire:** Aparte de gran cantidad de imágenes y dibujos, incluye textos explicativos de la aparición, uso o construcción, aparte de diferencias entre modelos y otros

² La versión PDF se encuentra bloqueada para copia e impresión. Por tanto, para imprimir las partes que consideramos necesarias, debemos hacer capturas con las que perdemos la escala que aparece en el documento (calcularemos la escala en cada caso).

detalles.

- **Spitfire in my Workshop by David Glen:** Dispone de libro y página web dedicado a la reproducción del Spitfire Mk I a escala 1:5, con imágenes de algunas partes del proceso.
- **Aussie Modeller International web:** Tiene una galería de imágenes del proceso de construcción del modelo Mk V del Spitfire llevado a cabo en Toowoomba, Australia. Incluye algunas capturas del modelado en 3D de piezas.
- **Airframe Assemblies web:** De forma similar a la anterior, incluye una serie de fotografías de piezas reparadas y/o construidas por esta compañía dedicada especialmente a la reparación y reproducción de piezas de aeronaves que participaron en la Batalla de Inglaterra.
- **The Kent Spitfire web:** Compañía dedicada a la reconstrucción del Spitfire Mk IX para devolverlo a condiciones de vuelo. Se explica el proceso de acompañado de imágenes de gran utilidad, especialmente para el modelado del fuselaje.
- **Biggin Hill Heritage Hanger web:** Se trata de un hangar que reproduce el famoso aeródromo de la Segunda Guerra Mundial situado en Biggin Hill. En él destacan varios modelos de Spitfire conservados en condiciones de vuelo y de los que se nos muestran multitud de capturas con buen nivel de detalle.

De esta forma, ponemos fin al primer paso del largo proceso que supone la consecución de este trabajo de fin de grado. Desde este momento nuestro trabajo será analizar toda la información que hemos adquirido y aplicarla para poder reproducir la aeronave fielmente en CATIA.

4 SUPERMARINE SPITFIRE

En este capítulo vamos a describir la aeronave en la que hemos centrado el trabajo. Para ello analizaremos su historia, tratando desde el contexto en el que aparece hasta su papel en los conflictos bélicos y su consecuente legado en la historia militar y el mundo de la aviación.

4.1 Nacimiento

Para hablar del origen del Spitfire es necesario hacer mención a su diseñador jefe, Reginald J. Mitchell. Apasionado de la aeronáutica desde niño, Mitchell se consagró como director de diseño de la empresa Pemberton Billing a los 24 años, compañía que tras la Primera Guerra Mundial, pasó a llamarse Supermarine Aviation Works.

En tiempos de paz y haciendo uso de los conocimientos adquiridos durante la Gran Guerra, Supermarine Aviation Works dedicó sus esfuerzos al desarrollo de hidroaviones. La aviación se volcó en batir marcas de velocidad y alcance, compitiéndose en la conocida copa Schneider que el equipo de Mitchell ganó en 1922 con el “Sea Lion”. Posteriormente volvió a levantar la copa hasta en 3 ocasiones más en 1927, 1929 y 1931, donde el Supermarine S6B dejó el record de velocidad en 650 km/h.



Figura 4-1. Supermarine S6, en el morro se aprecia la forma del Spitfire

En 1931 el Ministerio del Aire británico lanza un proyecto cuyo objetivo era remplazar al biplano Bristol Bulldog. La propuesta de Mitchell fue el Supermarine 224, en cuyo perfil empiezan a apreciarse las líneas del Spitfire a pesar de que en alzado parece un Stuka³ y en planta un S4. El proyecto fue adjudicado al Gloster Gladiator.

³ Stuka: Junkers Ju 87, avión alemán de ataque a tierra biplaza que participó en la Segunda Guerra Mundial.

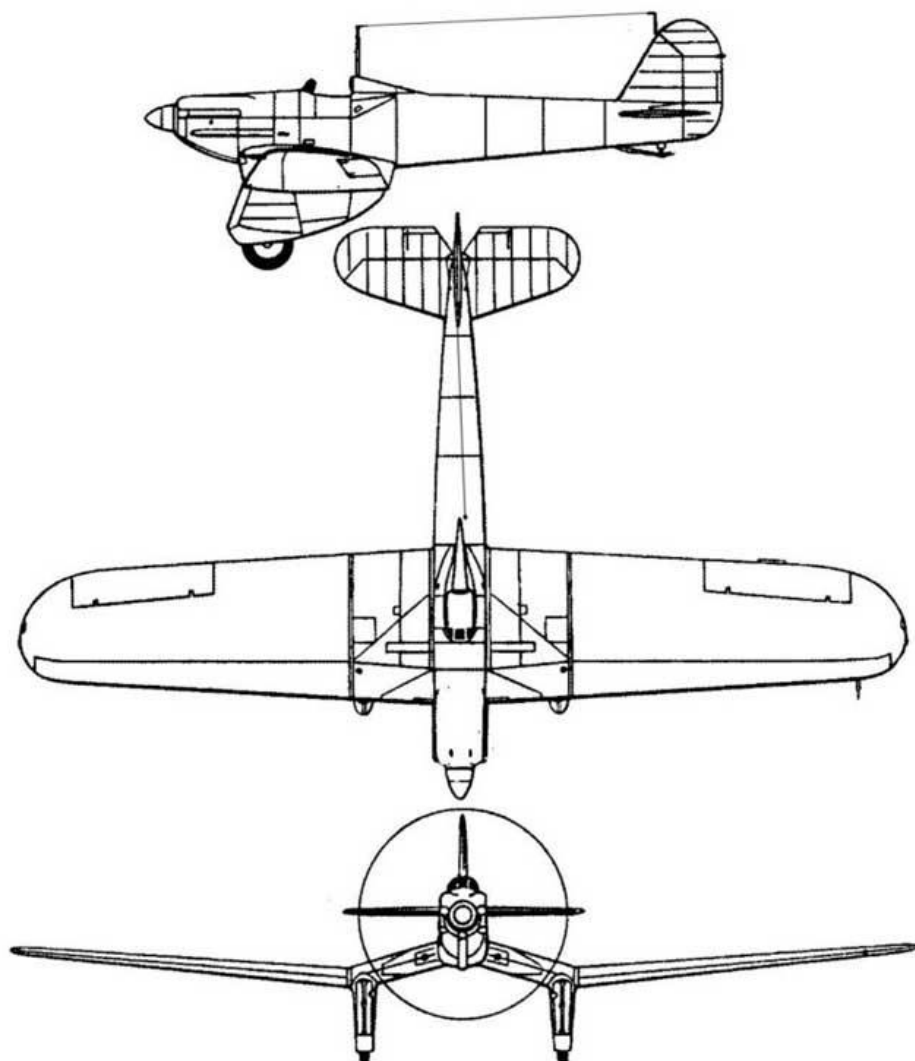


Figura 4-2. Supermarine 224

A pesar de no ser elegido, el equipo continuó trabajando en la mejora del modelo convencido de que el Ministerio había cometido un error (Alemania estaba construyendo cazas monoplanos más veloces y ligeros). Mitchell tenía cáncer y desde ese momento trabajó a contrarreloj en el diseño de un caza de ala elíptica, sabedor de que una nueva guerra era inminente y Alemania llevaba ventaja en fuerza aérea.

De esta manera surge el Spitfire cuyo primer prototipo voló el 5 de Marzo de 1936, dejando muy buen sabor de boca. Se trataba de un caza de líneas modernas, que mejoraba el rendimiento aerodinámico, de excelente maniobrabilidad y extremadamente rápido gracias a su motor Rolls-Royce Merlin refrigerado con aceite. No obstante, el diseño de ala elíptica era complejo de fabricar lo que daba ventaja a los alemanes, cuyo caza insignia, el Messerschmitt Bf 109, se fabricaba en un tercio de tiempo ofreciendo un rendimiento similar.

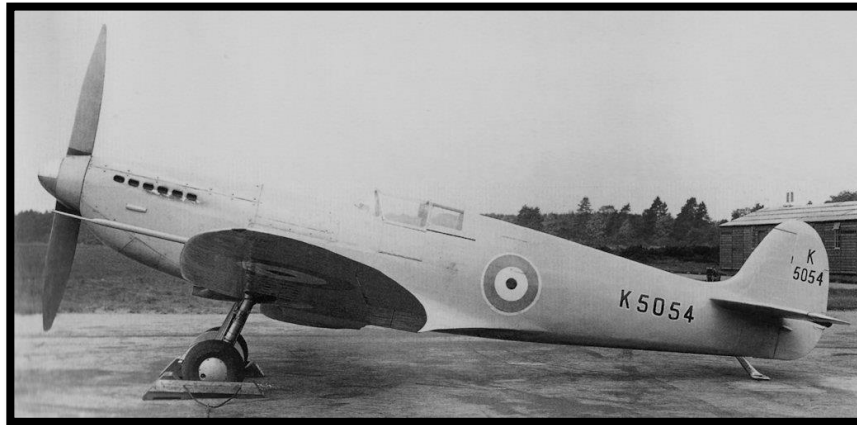


Figura 4-3. Supermarine 300, posteriormente conocido como Spitfire Mk I

Para armar a la obsoleta RAF⁴ había entrado en fabricación el Hawker Hurricane, pero el Spitfire lo superaba en aspectos claves como la velocidad, el manejo o la potencia de fuego. Esta última característica se veía reflejada en el nombre que dio la compañía a la obra culmen de Mitchell (pues Spit fire significa escupir fuego). El Ministerio del Aire realizó un pedido de 310 aviones en Junio de 1936, razón por la que se creó una nueva fábrica en Castle Bromwich como complemento a la fábrica de Supermarine de Southampton.

Durante su periodo de servicio a la RAF, se fabricaron más de 23000 unidades de todos sus modelos, siendo el único caza británico en estar en producción continua antes, durante y después de la Segunda Guerra Mundial. El tipo más común fue el Spitfire Mk V, seguido del Mk IX, objeto de nuestro proyecto.

Finalmente, Mitchell perdió su batalla contra el cáncer en Junio de 1937 y no llegó a ver como su caza entraba en acción contra la Alemania de Hitler.

4.2 Historia operacional

4.2.1 Comienzos en la RAF

El Spitfire hace su debut con la RAF el 4 de Agosto de 1938 en el escuadrón N° 19 de Duxford, aumentando su número semanalmente de manera que al comienzo de la Segunda Guerra Mundial contaba con unos 400 ejemplares.

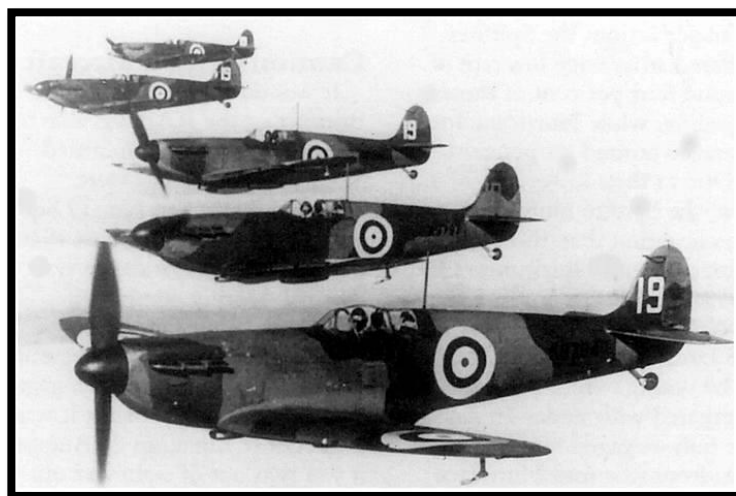


Figura 4-4. Los Spitfire del escuadrón 19 de la RAF

⁴ RAF: Royal Air Force, es decir, Real Fuerza Aérea Británica.

El 6 de Septiembre de 1939, Inglaterra llevaba apenas tres días de guerra y ningún piloto de la RAF había entrado aún en combate, cuando se detectó un avión no identificado que se aproximaba a gran altura. En el aeródromo de Hornchurch se dio orden de desplegar a los Spitfires de los escuadrones 54, 65 y 74. Simultáneamente en el campo de aviación North Weald se desplegaron también los Hurricanes de los escuadrones 151 y 56. Las deficientes comunicaciones entre pilotos y centros de mando, sumado a la inexperiencia y el nerviosismo de los pilotos, dieron lugar a un incidente de fuego amigo conocido como la batalla de Barking Creek en la que dos Hawker Hurricane del escuadrón 56 fueron derribados por aviones Spitfire del escuadrón 74. Como consecuencia de ello, Montague Leslie Hulton-Harrop fue el primer piloto británico fallecido en el recién comenzado conflicto armado.

Los responsables de esta tragedia, Vincent Byrne y John Freeborn fueron exonerados por el tribunal que lo consideró un desafortunado accidente. El caso de John Freeborn llama la atención, puesto que se convertiría en uno los mejores pilotos de Spitfire derribando hasta once aviones alemanes y dejando la marca de más horas de vuelo durante la Batalla de Inglaterra.

4.2.2 Batalla de Inglaterra

Durante la Batalla de Inglaterra entraron en combate los Spitfire Mk I y II, que de acuerdo con la táctica de la RAF se mantenían a retaguardia para contraatacar a los cazas escoltas alemanes. Ambos modelos usaban ocho ametralladoras de 0.303, que pese a proporcionar gran potencia de fuego no tenían calibre suficiente para derribar los aviones metálicos de Alemania, que en multitud de ocasiones volvían tras la batalla con agujeros en su fuselaje que no comprometían su integridad.



Figura 4-5. Formación Spitfire en la Batalla de Inglaterra

En parte por este motivo y también por el mayor número de unidades de las que se disponía, se usaron los Hawker Hurricane para interceptar los bombarderos alemanes, de manera que fueron responsables de siete de cada diez de los derribos realizados. Todo ello pese a las mejores características del Spitfire, que en futuros modelos solventó algunos de los fallos presentes en los primeros ejemplares.

Pese a todo, el Spitfire presentaba importantes ventajas con respecto a su archienemigo, el Messerschmitt Bf 109, entre las que destacan su maniobrabilidad, velocidad angular o visibilidad del piloto. Esto permitió al caza inglés ganar multitud de combates aéreos en esta contienda aumentando considerablemente el número de bajas entre las filas alemanas. Desde ese momento, se convertiría en la columna vertebral del Mando de Caza de la RAF.

4.2.3 Ofensiva europea (1941-43)

Como hemos visto anteriormente, el Spitfire presentaba un error clave en la organización de las ametralladoras. De ahí que en 1941 entrase en vigor el modelo Mk V que contaba con menos armas, pero de mayor calibre (dos cañones de 20mm y 4 ametralladoras de 0.303), lo cual proporcionaba un patrón de fuego más cerrado y más efectivo.

No obstante, con la llegada del Focke-Wulf Fw 190, el entonces operativo Spitfire Mk V se vio superado en todos los aspectos, excepto los giros. De esta forma las bajas de Spitfire aumentaron y el ejército alemán afianzó su superioridad en el aire.

Como respuesta, los ingleses fabricaron el modelo Mk IX con motor Merlin 61 y, hasta que este empezó a aparecer en grandes cantidades, se hicieron modificaciones en el Mk V, tales como, alas recortadas o motor optimizado para vuelos a baja altitud.

El Spitfire era un caza de baja autonomía y sus operaciones se limitaron al noroeste de Francia y el canal de la Mancha. Su misión hasta el completo desarrollo de los cazas estadounidenses, como el P-51 Mustang, consistió en escoltar a los bombarderos. Una vez que la guerra se intensificó en Europa estos salieron a cielo abierto a enfrentar a las fuerzas aéreas de la Luftwaffe.



Figura 4-6. Formación en V de 3 aviones, la formación usada por los Spitfire

4.2.4 Servicio en el Mediterráneo

- Primer servicio en Marzo de 1942 despegando del portaaviones HMS Eagle.
- Se entregan 275 ejemplares a la isla de Malta.
- Participación en el *Teatro de África del Norte*.
- Usados por RAF, SAAF⁵ y USAAF⁶ en las campañas de Sicilia e Italia.



Figura 4-7. Spitfire en HMS Eagle

⁵ SAAF: South African Air Force

⁶ USAAF: United States Army Air Forces

4.2.5 Asia y el Pacífico

El Spitfire también estuvo presente en la guerra del Pacífico de la mano de la RAF, la RAAF⁷ y la RIAF⁸. Inicialmente estuvieron presentes para reconocimiento fotográfico hasta que a finales de 1942, como consecuencia de los ataques japoneses al norte de Australia, se forma la 1ª Ala de la RAAF compuesta de unidades de Spitfire Mk V. También fueron enviados ejemplares a la zona de Birmania-India.

Irónicamente los pilotos en Asia y Pacífico se vieron obligados a copiar las tácticas que los alemanes usaban contra los Spitfire y es que los cazas japoneses tenían mayor velocidad angular que los británicos. Estas tácticas se basaban en utilizar velocidad máxima, hacer ataques en picado y perseguir aviones que habían alcanzado el límite de autonomía.

4.2.6 Día D y posterior

Tras el Desembarco de Normandía, se produce el traslado a la Europa continental de los escuadrones de Spitfire, que operarían desde aeródromos cercanos a las líneas enemigas. Sus operaciones se basaron en recorrer territorio enemigo, atacando objetivos terrestres y dando apoyo a la infantería, dejando a un lado los combates con la aviación alemana, puesto que las fuerzas aliadas habían establecido su supremacía en el aire.

Los modelos más modernos, que gozaban de mayor velocidad punta, se quedaron en las islas británicas para contrarrestar las ofensivas alemanas basadas en el lanzamiento de bombas V1.

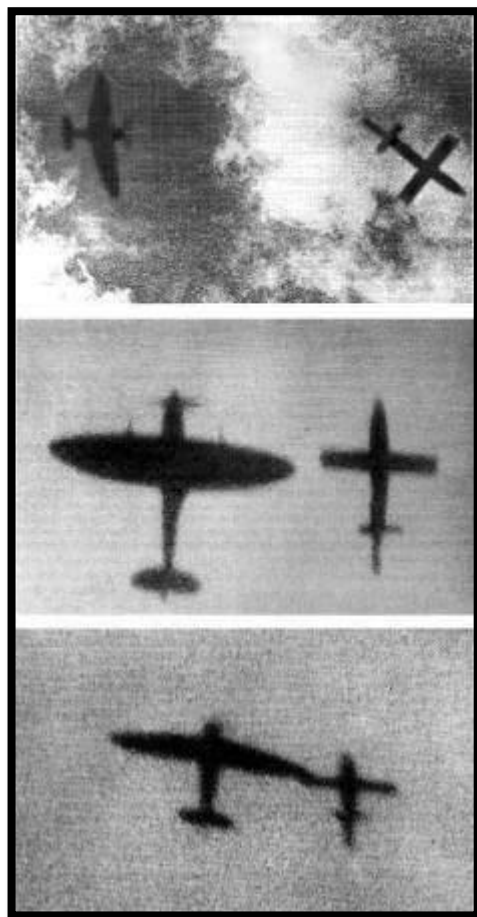


Figura 4-8. Spitfire derribando bomba V1

4.2.7 Servicio en la posguerra

Tras el fin de la Segunda Guerra Mundial recordemos que se siguieron fabricando unidades del Spitfire por lo

⁷ RAAF: Royal Australian Air Force

⁸ RIAF: Royal Indian Air Force

que se mantuvo en servicio en las fuerzas aéreas de muchos países, incluso hasta los 60.

En Europa encontramos un ejemplo en la Fuerza Aérea Sueca que adquirió ejemplares de este avión para el ala de reconocimiento fotográfico que efectuó labores de espionaje en territorio soviético.

Estuvieron presentes también durante la Guerra Civil Griega, en servicio de la RAF, la SAAF y la Fuerza Aérea Griega.

Por otro lado, en Oriente Medio los Spitfire realizaron su última labor en combate durante la Guerra árabe-israelí.

4.2.8 Marcas

- Velocidad de 975 km/h o Mach 0,891 en un descenso de 45°. Se buscaba estudiar el comportamiento de los aviones cerca de la barrera del sonido.
- Altura de 15712 metros durante un vuelo rutinario en Hong Kong para medir la temperatura.

4.3 Legado y supervivientes

El principal legado del Spitfire lo tenemos en los libros de historia. Se trata del avión británico fabricado en mayor número y el único caza de los aliados en producción durante toda la guerra. De ahí que con el tiempo se haya convertido en la imagen del bando aliado en los conflictos aéreos.

Se dice que de no ser por su irrupción en la RAF, Alemania habría ganado la Batalla de Inglaterra, lo que hubiese tenido consecuencias fatales para las fuerzas aliadas. Por ello el Spitfire pasó a ser considerado un arma legendaria y un símbolo de la resistencia del pueblo inglés.

Hoy día podemos verlos en algunos museos, principalmente en los dedicados a la aviación o la guerra, y existen unos cuarenta ejemplares con capacidad de volar. De hecho, es frecuente su uso en exhibiciones de vuelo y ceremonias conmemorativas de la Batalla de Inglaterra.

Por otro lado, son muchas las asociaciones o clubes de vuelo que han dedicado proyectos a la reproducción de unidades completamente funcionales del icónico caza inglés.

5 PROCESO DE MODELADO EN CATIA

En este capítulo vamos a describir por partes el proceso de modelado y recreación virtual del Spitfire Mk IX. Nos centraremos en cada uno de los subconjuntos en que hemos dividido la aeronave explicando cual ha sido la dinámica seguida para el diseño en CATIA V5.

Para ello seguiremos el esquema que nos proporciona el libro que hemos usado como fuente principal de información de cara a la realización de nuestro trabajo, esquema que mencionábamos en el capítulo 3.

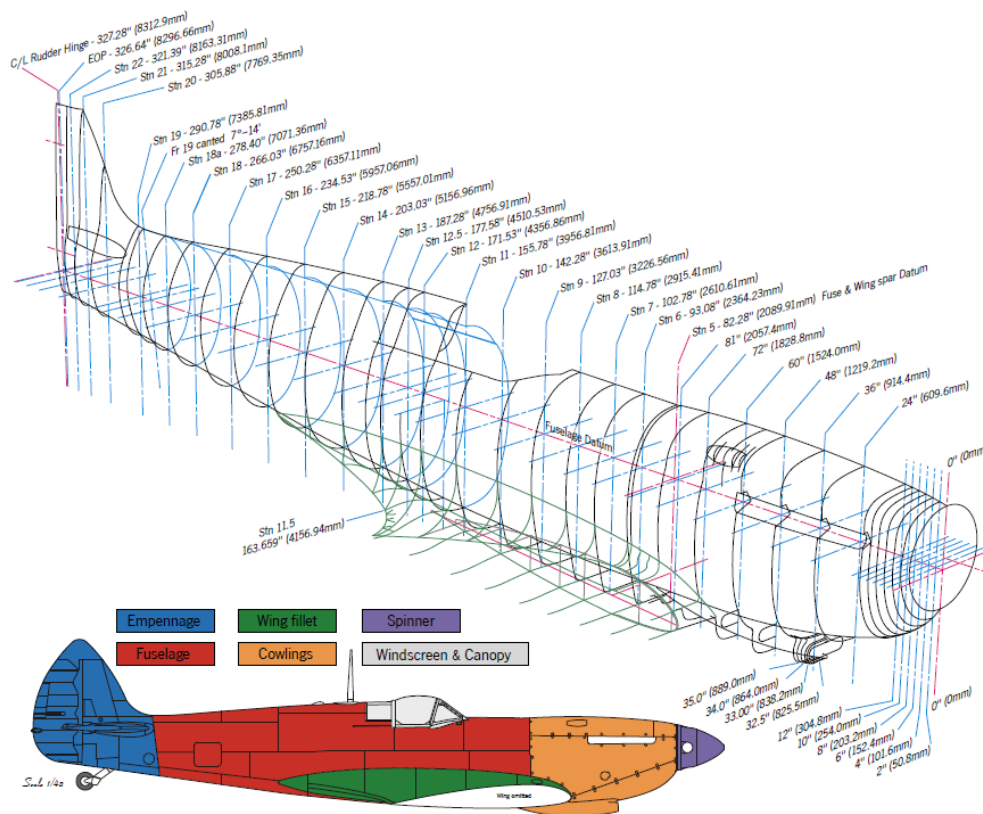


Figura 5-1. Vista general Spitfire Mk IX

5.1 Fuselaje

Se trata del cuerpo principal de la estructura del avión, el cual sirve de soporte para el resto de componentes (alas, tren de aterrizaje, grupo motopropulsor...). La función del fuselaje es soportar y transmitir las cargas sufridas durante el funcionamiento de la aeronave, de manera que las cargas más importantes son cargas concentradas (reacciones del ala, de los estabilizadores y del tren de aterrizaje) y cargas de inercia (originadas, por ejemplo, por la presión interna en vuelos a gran altura).

En nuestro caso, al tratarse de un avión de combate el fuselaje debe estar especialmente preparado para soportar todas aquellas cargas y tensiones que surgen de maniobras bruscas, frecuentes en el campo de batalla. De acuerdo a los datos que tenemos del Spitfire, podemos concluir que el diseño de su fuselaje es correcto, puesto que una

de las características principales de este caza es tu alta maniobrabilidad y su excelente respuesta en los giros.

La estructura básica es un tubo unicelular de pared delgada constituido por el revestimiento, las cuadernas o costillas transversales y los larguerillos longitudinales.

En nuestro caso el fuselaje está compuesto por 15 costillas (5, 6, 8-18, 18a y 19c), 7 largueros principales (4 inferiores, 2 laterales y 1 superior) y una serie de largueros laterales repartidos de la mejor manera para repartir las cargas de forma equitativa.

5.1.1 Metodología seguida con las costillas

En el libro se nos da una tabla, en la que se muestran las coordenadas, para cada una de las costillas, de diferentes puntos del contorno exterior en milímetros. Introduciendo estos puntos de forma correcta en hojas de Excel, respetando el sistema de ejes que vamos a usar, podemos hacer uso de macros de CATIA que nos permiten importar puntos de acuerdo a sus coordenadas (x, y, z).

| Fuselage frame ordinates | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| STATION | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12.5 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 18a | 19 cont'd | 19 | 20 | 21 | 22 | EOP |
| inch (") | 82.28 | 93.08 | 102.78 | 114.78 | 127.03 | 142.28 | 155.78 | 171.53 | 177.58 | 187.28 | 203.03 | 218.78 | 234.53 | 250.28 | 266.03 | 278.40 | n/a | 290.78 | 305.88 | 315.23 | 321.39 | 326.64 |
| metric (mm) | 2099.91 | 2364.23 | 2610.61 | 2915.41 | 3226.56 | 3613.91 | 3956.01 | 4356.86 | 4510.53 | 4756.91 | 5156.96 | 5557.01 | 5957.06 | 6357.11 | 6757.16 | 7071.36 | n/a | 7385.81 | 7769.35 | 8006.10 | 8163.43 | 8296.67 |
| Max Width | 16.94 | 17.03 | 17.00 | 16.98 | 16.81 | 16.52 | 16.15 | 15.60 | 15.37 | 14.92 | 14.08 | 13.19 | 12.18 | 10.93 | 9.75 | 8.75 | 8.10 | 7.65 | 6.16 | 4.78 | 3.66 | 2.64 |
| | 430.28 | 432.56 | 431.80 | 431.29 | 426.97 | 419.61 | 410.21 | 396.24 | 390.40 | 378.97 | 357.63 | 335.03 | 309.37 | 277.62 | 247.65 | 222.25 | 205.74 | 194.31 | 156.46 | 121.41 | 92.96 | 67.06 |
| WL 1 | 16.21 | 16.32 | 16.35 | 16.27 | 16.19 | 15.92 | 15.58 | 15.03 | 14.81 | 14.44 | 13.74 | 12.94 | 12.00 | 10.90 | 9.73 | 8.75 | 8.10 | 7.65 | 6.15 | 4.75 | 3.60 | 2.42 |
| | 411.73 | 414.53 | 415.29 | 413.26 | 411.23 | 404.37 | 395.73 | 381.76 | 376.17 | 366.78 | 349.00 | 328.68 | 304.80 | 276.86 | 247.14 | 222.25 | 205.74 | 194.31 | 156.21 | 120.65 | 91.44 | 61.47 |
| WL 2 | 15.25 | 15.37 | 15.37 | 15.30 | 15.20 | 15.00 | 14.69 | 14.21 | 13.98 | 13.63 | 13.00 | 12.24 | 11.40 | 10.43 | 9.30 | 8.32 | 7.70 | 7.30 | 5.80 | 4.50 | 3.61 | 2.64 |
| | 387.35 | 390.40 | 390.40 | 388.62 | 386.08 | 381.00 | 373.13 | 360.93 | 355.09 | 346.20 | 330.20 | 310.90 | 289.56 | 264.92 | 236.22 | 211.33 | 195.58 | 185.42 | 147.32 | 114.30 | 91.69 | 67.06 |
| WL 3 | 13.54 | 13.68 | 13.67 | 13.60 | 13.50 | 13.32 | 13.09 | 12.87 | 12.67 | 12.24 | 11.67 | 11.00 | 10.13 | 9.18 | 8.04 | 7.09 | 6.43 | 6.05 | 4.70 | 3.75 | 3.05 | 2.45 |
| | 343.92 | 347.47 | 347.22 | 345.44 | 342.90 | 338.33 | 332.49 | 326.90 | 321.82 | 310.90 | 296.42 | 279.40 | 257.30 | 233.17 | 204.22 | 180.09 | 163.32 | 153.67 | 119.38 | 95.25 | 77.47 | 62.23 |
| WL 4 | 10.40 | 10.63 | 10.68 | 10.68 | 10.46 | 10.33 | 10.56 | 10.45 | 10.41 | 10.38 | 9.83 | 9.08 | 8.10 | 7.06 | 5.92 | 4.99 | 4.31 | 4.10 | 3.33 | 2.75 | 2.48 | 2.35 |
| | 264.16 | 270.00 | 271.27 | 271.27 | 265.68 | 262.38 | 268.22 | 265.43 | 264.41 | 263.65 | 249.68 | 230.63 | 205.74 | 179.32 | 150.37 | 126.75 | 109.47 | 104.14 | 84.58 | 69.85 | 62.99 | 59.69 |
| WL 5 | — | — | — | — | — | — | 8.58 | 8.41 | 8.36 | 8.34 | 7.64 | 6.69 | 5.58 | 4.31 | 2.93 | 1.82 | 1.45 | 1.44 | 2.34 | 2.39 | 2.32 | 2.24 |
| | — | — | — | — | — | — | 217.93 | 213.61 | 212.34 | 211.84 | 194.06 | 169.93 | 141.73 | 109.47 | 74.42 | 46.23 | 36.83 | 36.58 | 59.44 | 60.71 | 58.93 | 56.90 |
| WL 6 | — | — | — | — | — | — | 6.60 | 6.47 | 6.32 | 6.02 | 5.06 | 3.55 | 0.93 | — | — | — | — | — | 2.02 | 2.33 | 2.24 | 2.15 |
| | — | — | — | — | — | — | 167.64 | 164.34 | 160.53 | 152.91 | 128.52 | 90.17 | 23.62 | — | — | — | — | — | 51.31 | 59.18 | 56.90 | 54.61 |
| WL 7 | — | — | — | — | — | — | 1.94 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.60 | 2.27 | 2.20 | 2.08 |
| | — | — | — | — | — | — | 49.28 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 40.64 | 57.66 | 55.88 | 52.83 |
| WL 8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.13 | 2.13 | 2.12 | 1.99 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 28.70 | 54.10 | 53.85 | 50.55 |
| WL 9 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.94 | 2.00 | 1.89 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 49.28 | 50.80 | 48.01 |
| WL 10 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.72 | 1.85 | 1.74 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 43.69 | 46.99 | 44.20 |
| WL 11 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.42 | 1.67 | 1.56 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 36.07 | 42.42 | 39.62 |
| WL 12 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.96 | 1.45 | 1.38 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 24.38 | 36.83 | 35.05 |
| End Rib | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.24 | 1.25 |
| | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 31.50 | 31.75 |
| BL CtrLine - Top | 19.08 | 19.25 | 19.40 | 19.55 | 19.62 | 19.79 | 20.18 | 20.83 | 21.64 | 22.22 | 26.33 | 25.30 | 24.15 | 22.91 | 21.59 | 20.75 | 20.91 | 21.10 | 35.93 | 50.66 | 51.20 | 51.20 |
| | 484.63 | 488.95 | 492.76 | 496.57 | 498.35 | 502.67 | 715.77 | 706.88 | 702.06 | 691.39 | 668.78 | 642.62 | 613.41 | 581.91 | 548.39 | 527.05 | 531.11 | 535.94 | 912.62 | 1286.76 | 1300.48 | 1300.48 |
| BL 1 | 18.58 | 18.75 | 18.95 | 18.95 | 18.95 | 19.12 | 26.62 | 26.26 | 25.94 | 25.26 | 24.07 | 22.49 | 20.81 | 19.12 | 17.43 | 15.98 | 14.88 | 14.33 | 11.07 | — | — | — |
| | 471.93 | 476.25 | 481.33 | 481.33 | 481.33 | 485.65 | 676.15 | 667.00 | 658.88 | 641.60 | 611.38 | 571.25 | 528.57 | 485.65 | 442.72 | 405.89 | 377.95 | 363.98 | 281.18 | — | — | — |
| BL 2 | 16.32 | 16.52 | 16.58 | 16.57 | 16.40 | 16.33 | 17.12 | 16.87 | 16.79 | 16.75 | 15.66 | 14.21 | 12.31 | 9.77 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 414.53 | 419.61 | 421.13 | 420.88 | 416.56 | 414.78 | 434.85 | 428.50 | 426.47 | 425.45 | 397.76 | 360.93 | 312.67 | 248.16 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| BL 2.5 | 12.94 | 13.19 | 13.15 | 13.02 | 12.85 | 12.54 | 12.18 | 11.71 | 11.20 | 10.05 | 8.00 | 3.44 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 328.68 | 335.03 | 334.01 | 330.71 | 326.39 | 318.52 | 309.37 | 297.43 | 284.48 | 255.27 | 203.20 | 87.38 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Diagonal Y | 18.63 | 18.77 | 18.75 | 18.69 | 18.58 | 18.40 | 18.28 | 18.16 | 18.02 | 17.70 | 17.15 | 16.46 | 15.57 | 14.58 | 13.33 | 12.23 | 11.47 | 11.00 | 9.09 | 7.25 | — | — |
| | 473.20 | 476.76 | 476.25 | 474.73 | 471.93 | 467.36 | 464.31 | 461.26 | 457.71 | 449.58 | 435.61 | 418.08 | 395.48 | 370.33 | 338.58 | 310.64 | 291.34 | 279.40 | 230.89 | 184.15 | — | — |
| Diagonal Z | — | — | — | — | — | — | 8.32 | 8.03 | 7.79 | 7.24 | 6.38 | 5.32 | 4.08 | 2.90 | 1.68 | 0.83 | 0.90 | 1.04 | — | — | — | — |
| | — | — | — | — | — | — | 211.33 | 203.96 | 197.87 | 183.90 | 162.05 | 135.13 | 103.63 | 73.66 | 42.67 | 21.08 | 22.86 | 26.42 | — | — | — | — |

Figura 5-2. Fuselaje: Muestra de la tabla de coordenadas de las secciones

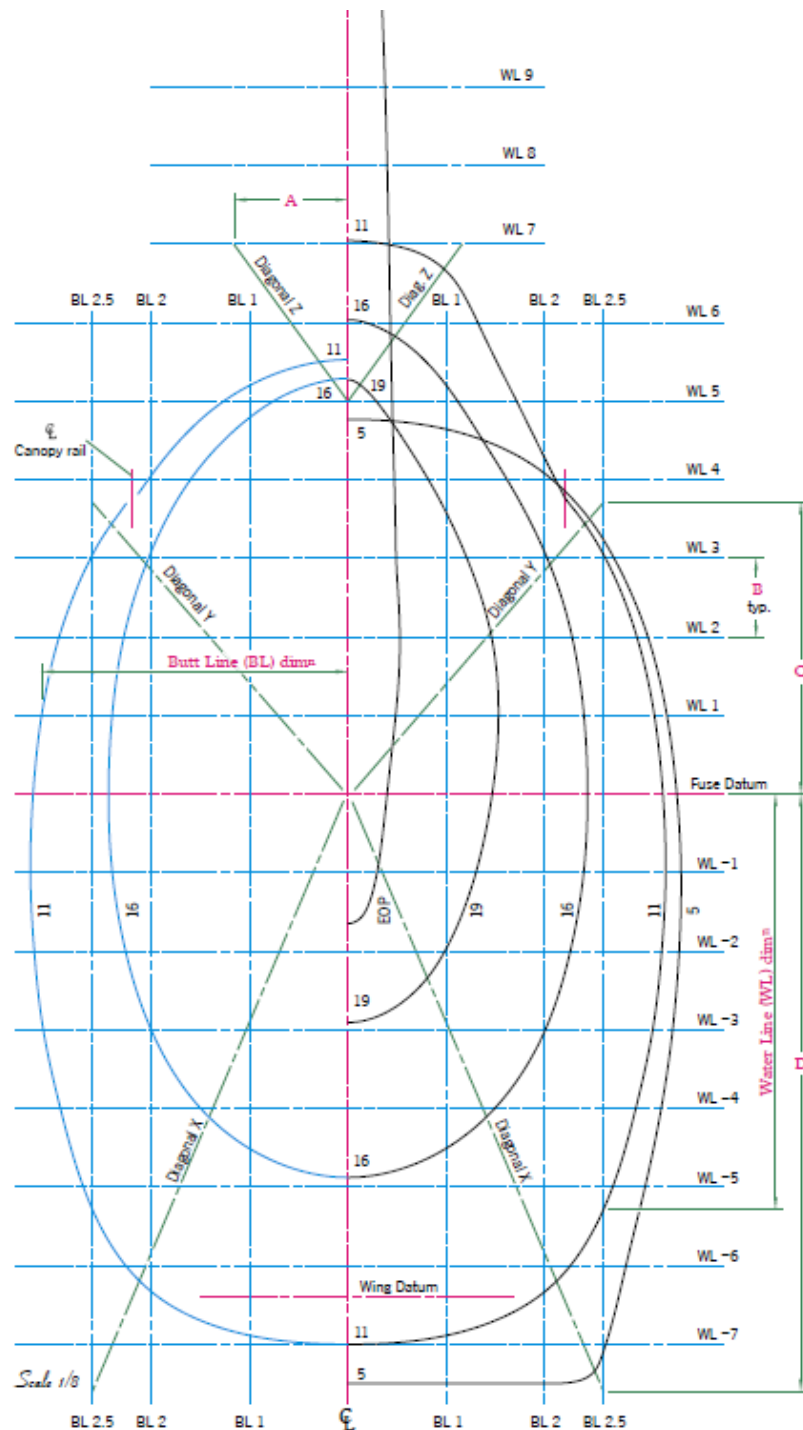


Figura 5-3. Imagen explicativa de la interpretación correcta de la tabla de coordenadas

Para ello debemos dirigirnos al directorio donde tenemos instalado el software CATIA V5 y entre sus archivos de instalación encontraremos una serie de archivos en formato Excel, entre los que se encuentra *GSD_PointSplineLoftFromExcel*. Al abrirlo debemos borrar toda la información presente, dejando únicamente el encabezado (*StartLoft/StartCurve*) y el final (*EndCurve/EndLoft/End*). Entre estos copiaremos las coordenadas de los puntos que deseamos representar teniendo en cuenta que la primera columna se corresponde con el eje X, la segunda con el Y, la tercera con el Z.

| | A | B | C |
|----|------------|---|---------|
| 1 | StartLoft | | |
| 2 | StartCurve | | |
| 3 | 411,73 | 0 | 101,6 |
| 4 | 387,35 | 0 | 203,2 |
| 5 | 343,92 | 0 | 304,8 |
| 6 | 264,16 | 0 | 406,4 |
| 7 | 0 | 0 | 484,63 |
| 8 | 127 | 0 | 471,93 |
| 9 | 254 | 0 | 414,53 |
| 10 | 330,2 | 0 | 328,68 |
| 11 | 424,69 | 0 | 0 |
| 12 | 430,02 | 0 | -101,6 |
| 13 | 427,74 | 0 | -203,2 |
| 14 | 419,35 | 0 | -304,8 |
| 15 | 404,37 | 0 | -406,4 |
| 16 | 383,54 | 0 | -508 |
| 17 | 358,9 | 0 | -609,6 |
| 18 | 332,99 | 0 | -711,2 |
| 19 | 0 | 0 | -762 |
| 20 | 127 | 0 | -762 |
| 21 | 254 | 0 | -762 |
| 22 | 330,2 | 0 | -719,58 |
| 23 | EndCurve | | |
| 24 | EndLoft | | |
| 25 | End | | |
| 26 | | | |

Figura 5-4. Macro *GSD_PointSplineLoftFromExcel*

Una vez hecho esto, podemos proceder a la introducción de los puntos en nuestro archivo de CATIA mediante la activación de la macro correcta. No obstante, con estos puntos sólo representamos el contorno exterior de la costilla en cuestión. Por tanto, necesitamos otro medio, más allá del libro, con el que obtener las coordenadas correctas del contorno interior y otros detalles, como el centro de las circunferencias a taladrar o la posición de las esquinas de los agujeros correspondientes a los largueros.

En este caso utilizaremos como fuente algunas imágenes que encontramos por internet de las costillas del Spitfire y el software GeoGebra para la obtención de las coordenadas necesarias. Este programa nos permite importar imágenes y fijar 3 de sus esquinas, de acuerdo a 3 coordenadas ya conocidas, y una vez hecho esto, podemos añadir puntos a lo largo de toda la imagen obteniendo sus correspondientes coordenadas. Nuevamente, pasamos estas coordenadas al Excel correspondiente y representamos los puntos en cuestión en CATIA con la ayuda de la macro correcta.

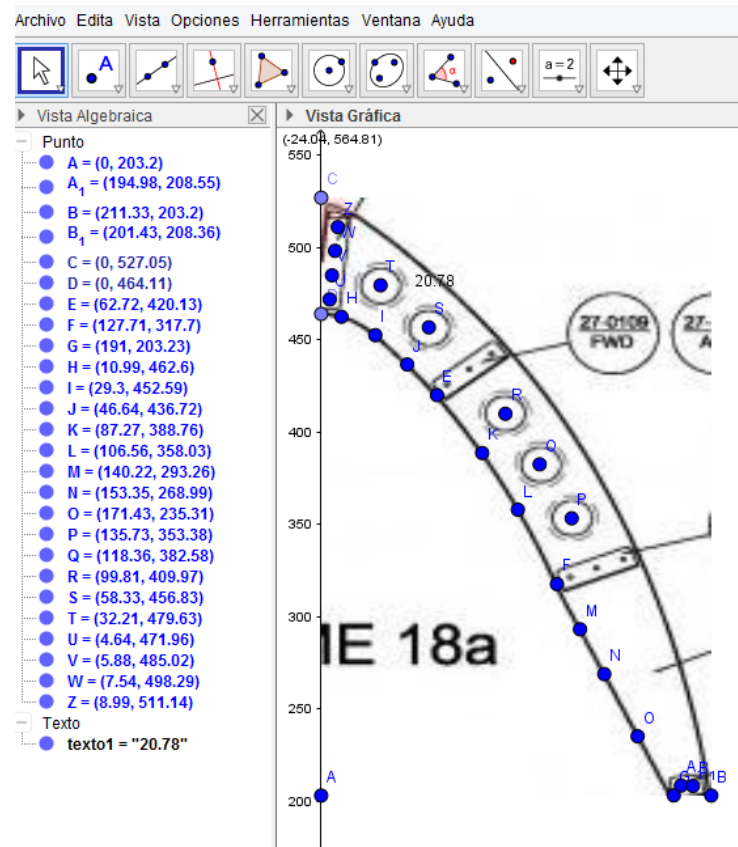


Figura 5-5. Ejemplo del uso de GeoGebra (Costilla 18a)

A continuación procedemos a la explicación del modelado de cada uno de las partes que componen el fuselaje. En el caso de las costillas el proceso es muy parecido, por lo que explicaremos en detalle aquellas que consideramos más representativas de la tarea realizada o aquellas que presenten mayor complejidad o número de componentes. Es importante hacer referencia al sistema de planos que hemos utilizado, igual para cada una de las costillas para así facilitar el trabajo a la hora de situarlas en el espacio. En el plano xy tenemos como referencia la línea *Fuselage Datum*, mientras que en el plano zx es *Fuse & Wing spar Datum*.

5.1.2 Costilla 11

Comenzamos por la costilla 11 puesto que es la costilla más compleja, con mayor número de componentes y que más tiempo nos ha llevado modelar. De esta manera, mediante la explicación del proceso de modelado de esta costilla establecemos la dinámica de trabajo que seguiremos en las otras costillas, en las que entraremos en menos detalle.

Cabe destacar que acoplada a la superficie de esta costilla, se encuentra una estructura de barras en la que irá colocado el asiento del piloto.

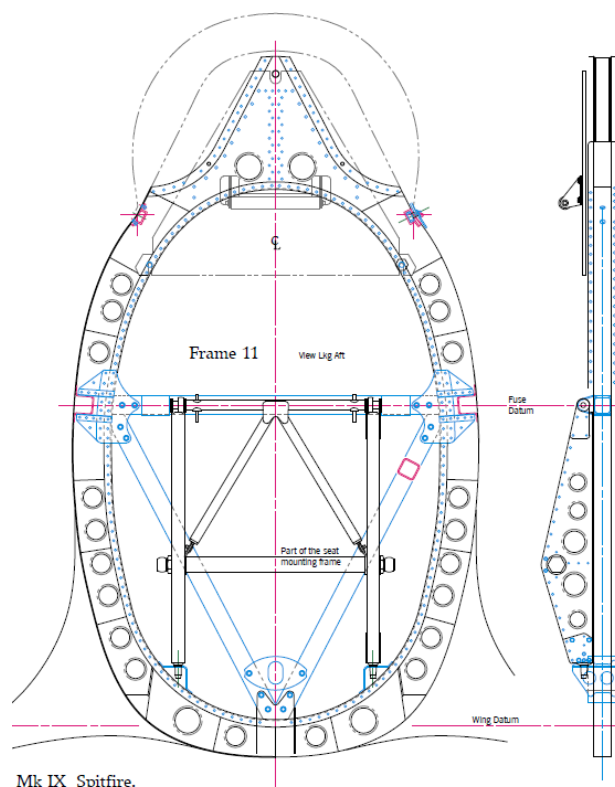


Figura 5-6. Costilla 11 según los planos del libro

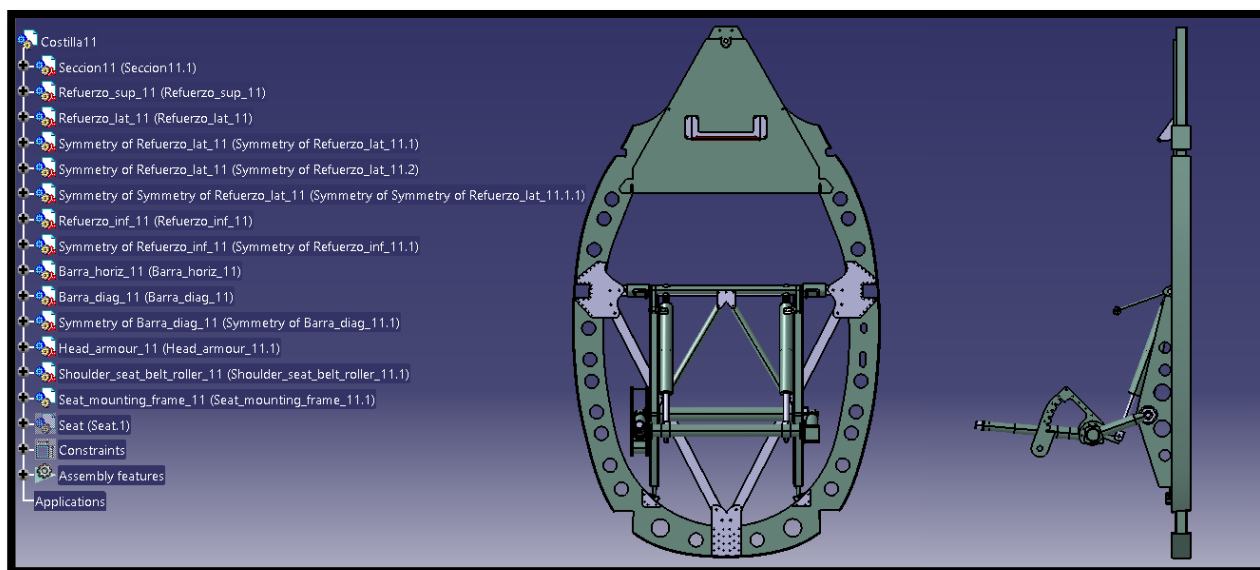


Figura 5-7. Costilla 11 en nuestro modelo

Podemos ver como la Costilla 11 queda fielmente recreada según los planos. La única diferencia apreciable es la inclusión en nuestro modelo del mecanismo de ajuste de altura del asiento, que no queda recogido en los planos de la Costilla 11 como tal. Todas las interpretaciones llevadas a cabo por falta de información son consistentes con la funcionalidad de cada pieza en particular.

5.1.2.1 Sección 11

Para la realización del marco de la costilla partimos, como hemos dicho anteriormente, de las coordenadas de una serie de puntos que introduciremos en CATIA.

Tabla 5-1. Muestra de los puntos del contorno exterior de la costilla 11

| Referencia | X | Y | Z |
|------------|--------|---|---------|
| WL 1 | 395,73 | 0 | 101,6 |
| WL 2 | 373,13 | 0 | 203,2 |
| WL 3 | 332,49 | 0 | 304,8 |
| WL 4 | 268,22 | 0 | 406,4 |
| WL 5 | 217,93 | 0 | 508 |
| WL 6 | 167,64 | 0 | 609,6 |
| WL 7 | 49,28 | 0 | 711,2 |
| BL top | 0 | 0 | 715,77 |
| BL 1 | 127 | 0 | 676,15 |
| BL 2 | 254 | 0 | 434,85 |
| BL 2.5 | 330,2 | 0 | 309,37 |
| WL FD | 406,65 | 0 | 0 |
| WL -1 | 410,21 | 0 | -101,6 |
| WL -2 | 405,13 | 0 | -203,2 |
| WL -3 | 393,45 | 0 | -304,8 |
| WL -4 | 371,6 | 0 | -406,4 |
| WL -5 | 341,63 | 0 | -508 |
| WL -6 | 287,02 | 0 | -609,6 |
| BL btm | 0 | 0 | -711,2 |
| BL -1 | 127 | 0 | -699,77 |
| BL -2 | 254 | 0 | -643,13 |
| BL -2.5 | 330,2 | 0 | -536,19 |

Una vez introducidos, procedemos a proyectar los puntos correspondientes a los contornos exterior e interior en un *Sketch*, a unirlos correctamente mediante *Spline* y a hacer simetría con respecto al eje vertical.

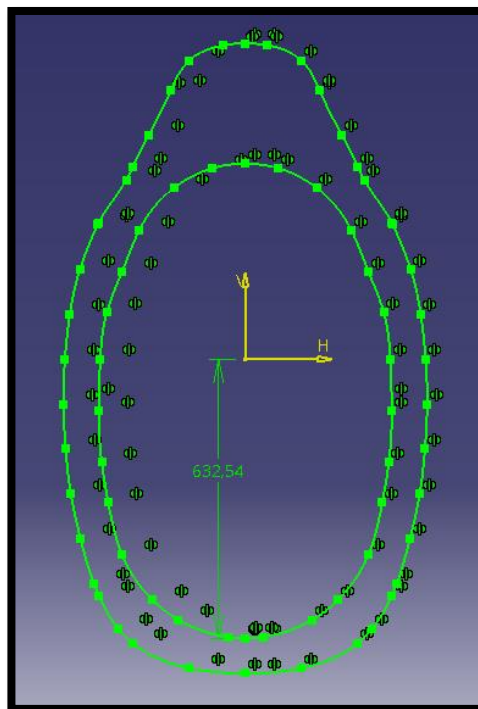


Figura 5-8. Sección 11: Sketch correspondiente

A continuación le damos espesor a este perfil mediante la orden *Pad*. El valor de dicho espesor lo obtenemos a partir de algunos de los planos, siendo aproximadamente de 27 mm para todas las costillas a excepción de la costilla 8.

Posteriormente le añadimos una superficie externa que nos servirá para la sujeción de la costilla al revestimiento del fuselaje. Dicha superficie la modelaremos a través de la operación *Rib*, con un perfil de ancho 50 mm y espesor 3 mm que tendrá como curva guía el propio contorno exterior de la costilla.

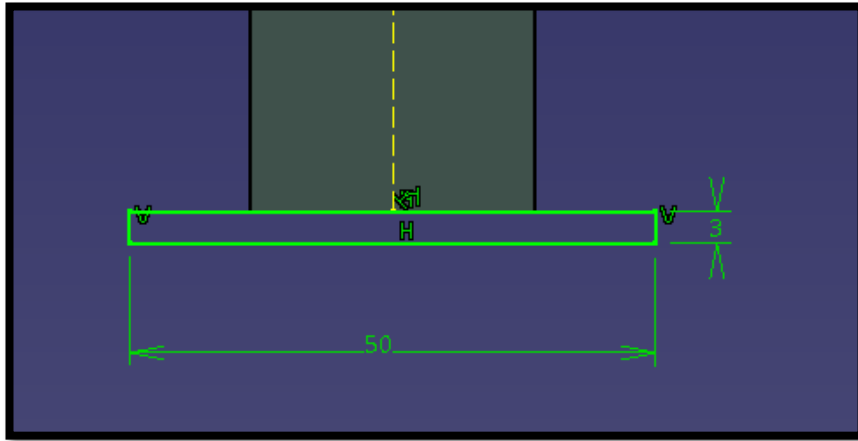


Figura 5-9. Sección 11: Perfil extruido con la operación Rib

Una vez hecho esto, procedemos al taladrado y vaciado de la superficie mediante la orden *Pocket*:

- Realizaremos agujeros pasantes de diámetros variados (48, 37, 12, 5 y 3.5 mm) conociendo previamente la posición de los centros de estas circunferencias. Algunos se corresponden con los agujeros que servirán de unión con los refuerzos.
- Vaciamos los perfiles correspondientes a los huecos donde situaremos los largueros, los correspondientes al carril que sigue la cubierta de la cabina y otros particulares en esta costilla como son los huecos superiores.

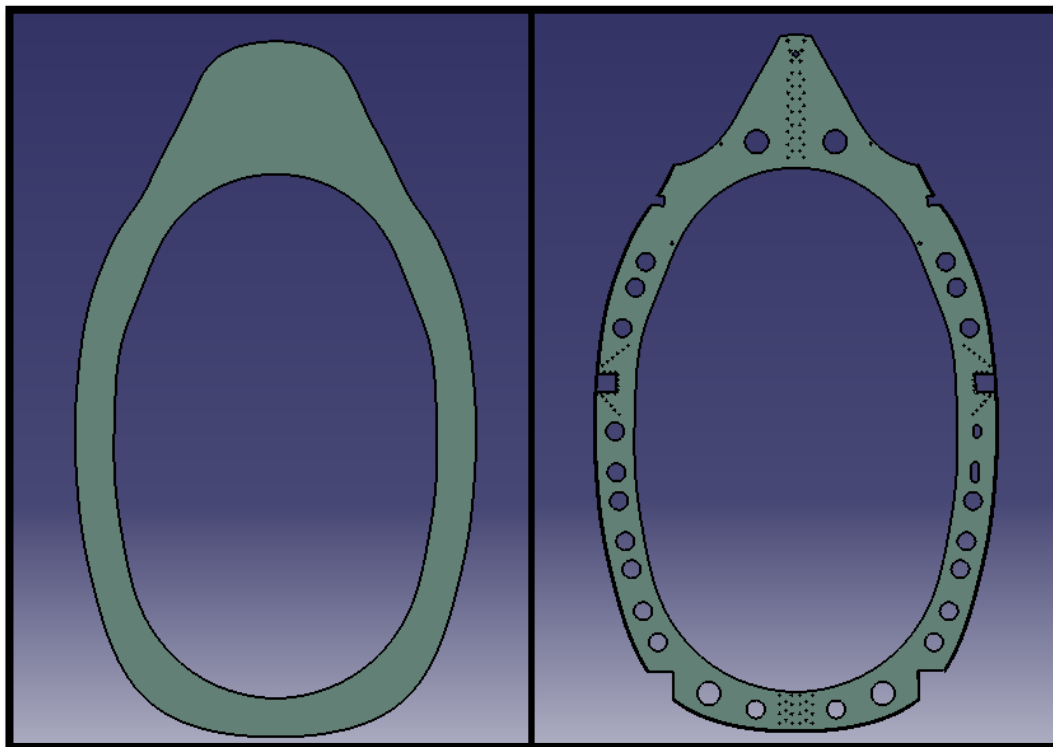


Figura 5-10. Sección 11 antes y después del taladrado y vaciado

5.1.2.2 Refuerzo superior 11

Este refuerzo, situado en la parte posterior de la costilla 11, sirve como sujeción para el larguero superior que une las costillas 11 y 12. Se trata de una chapa metálica de 1 mm de espesor que queda unida mediante remaches a la superficie, por lo que contará con los correspondientes agujeros para las uniones.

Realizamos el *Sketch* con el perfil correspondiente que extrudimos con la orden *Pad* para, posteriormente, realizar el vaciado (*Pocket*) correspondiente a los agujeros (pasantes) de remaches y sujeción del larguero.

En general, para el modelado de los refuerzos nos hemos basado en documentación fotográfica, es decir, en la mayoría de las ocasiones carecemos de planos, ya sean acotados o sin acotar, de las piezas en cuestión.

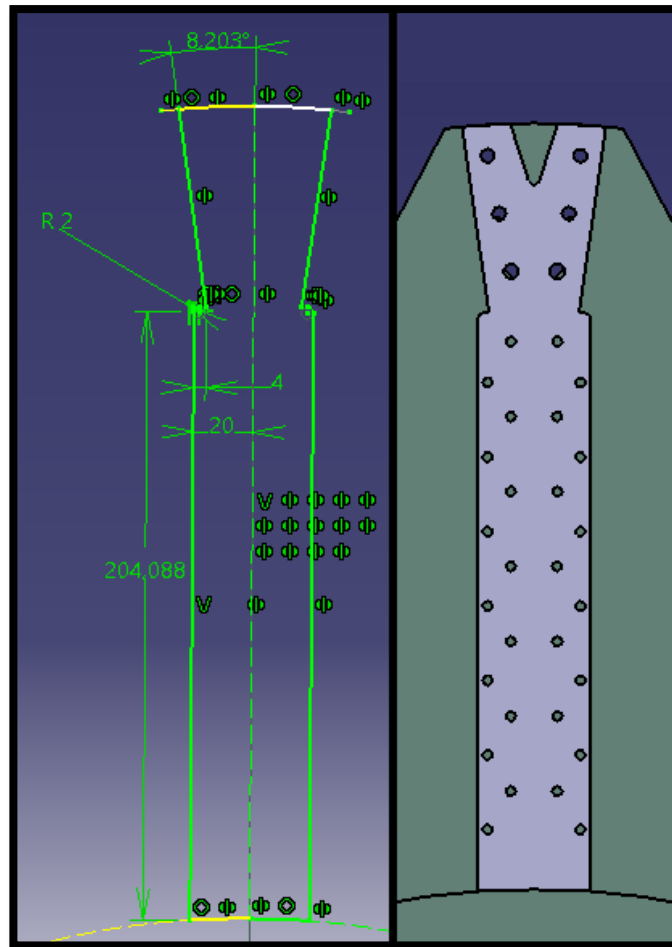


Figura 5-11. Refuerzo superior 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

Los agujeros más pequeños son circunferencias de 3.5 mm de diámetro, mientras que los más grandes tienen diámetro 5 mm.

5.1.2.3 Refuerzo lateral 11

Este refuerzo, situado en ambas caras y a ambos lados de la costilla, sirve como sujeción para los largueros laterales principales y también para las barras, diagonales y horizontal (componentes de la costilla 11).

Tiene 1 mm de espesor y le damos forma a partir de fotografías y también mediante la proyección de puntos característicos de su superficie.

La secuencia que seguimos es igual al refuerzo anterior: primero dibujamos el perfil en un *Sketch*, al que aplicamos la orden *Pad* para dar espesor y, finalmente, la orden *Pocket* para el vaciado de la superficie (agujeros pasantes).

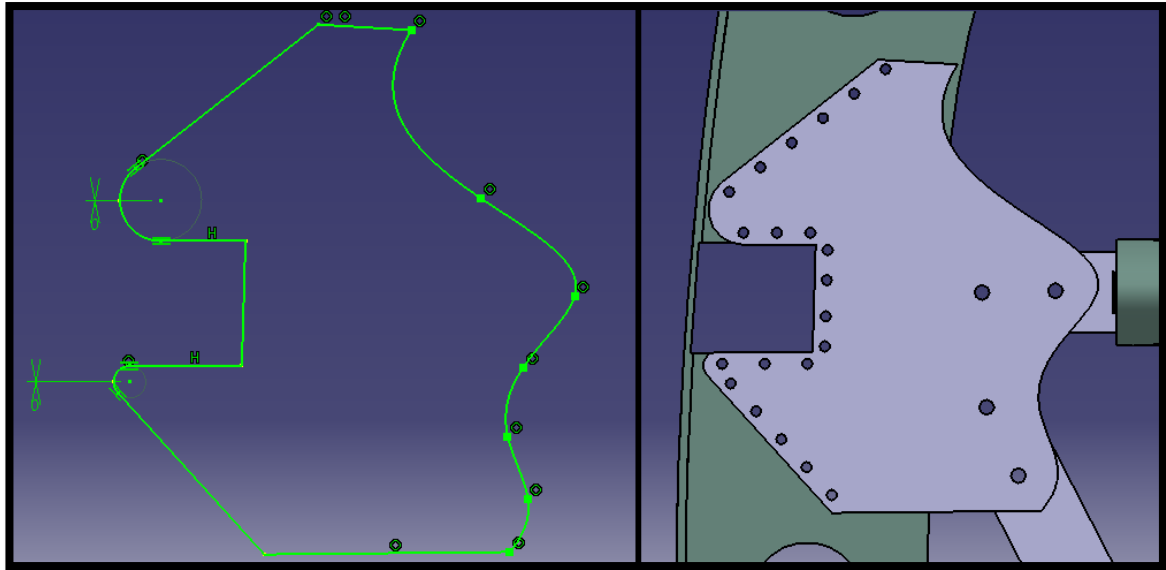


Figura 5-12. Refuerzo lateral 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

Los agujeros más pequeños son circunferencias de 3.5 mm de diámetro, mientras que los más grandes tienen diámetro 5 mm.

5.1.2.4 Refuerzo inferior 11

El refuerzo inferior también se sitúa en ambas caras de la superficie de la costilla, igualmente tendrá 1 mm de espesor (*Pad*) y su función es servir de soporte a las barras diagonales (componentes de la costilla 11). De ahí que contenga taladrados pasantes en su superficie (*Pocket*).

Contamos con algunos planos donde podemos observar esta pieza, lo que nos hará más fácil el modelado y dará un resultado más preciso.

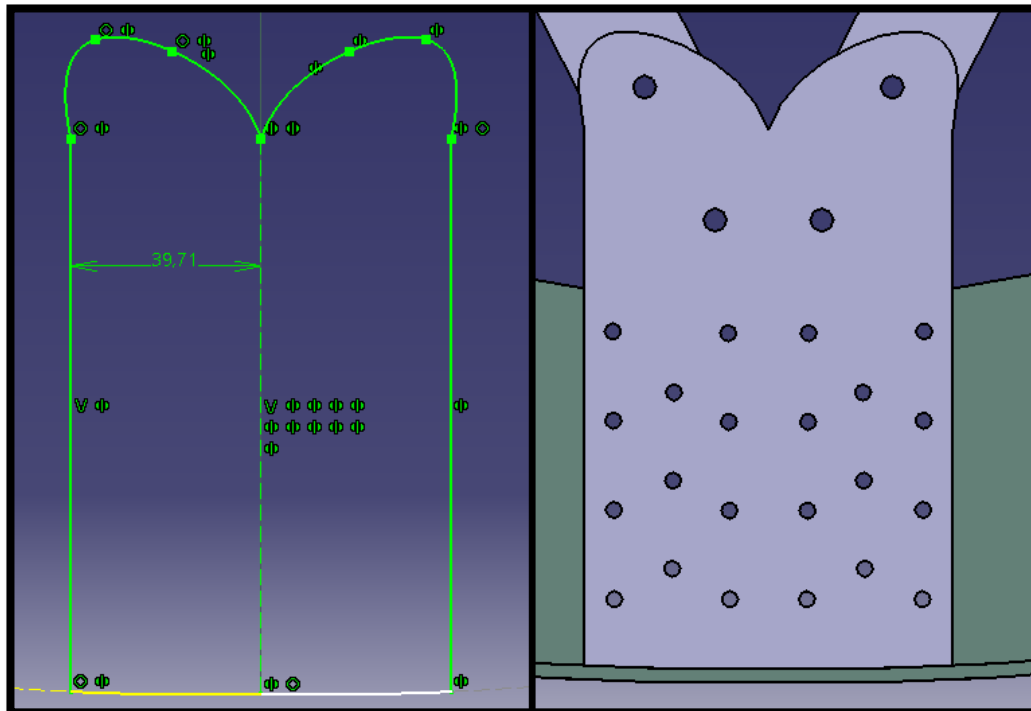


Figura 5-13. Refuerzo inferior 11: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

Los agujeros más pequeños son circunferencias de 3.5 mm de diámetro, mientras que los más grandes tienen diámetro 5 mm.

5.1.2.5 Barra horizontal 11

Se trata de una barra de sección cuadrada de lado 27 mm, que se sitúa de forma horizontal en el entorno de la costilla 11. Se realiza la sujeción mediante los refuerzos laterales y a ella se adhieren otras piezas, lo que provoca la existencia de agujeros en sus superficies. Debe garantizar la no colisión con el marco de la costilla.

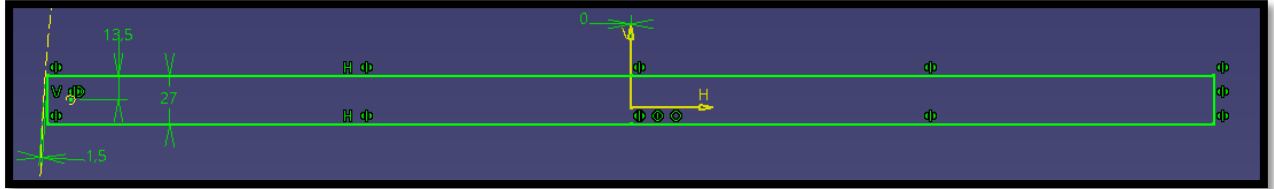


Figura 5-14. Barra horizontal 11: Sketch correspondiente

Una vez realizado el perfil de la pieza, acotado correctamente, se procede a la extrusión de dicho perfil haciendo uso de la operación *Pad*. Para acabar, se realizan taladrados de 5 mm de diámetro, 6 en la cara superior para la sujeción de los pestillos y 4 en la cara frontal para la unión de la barra con los refuerzos laterales.

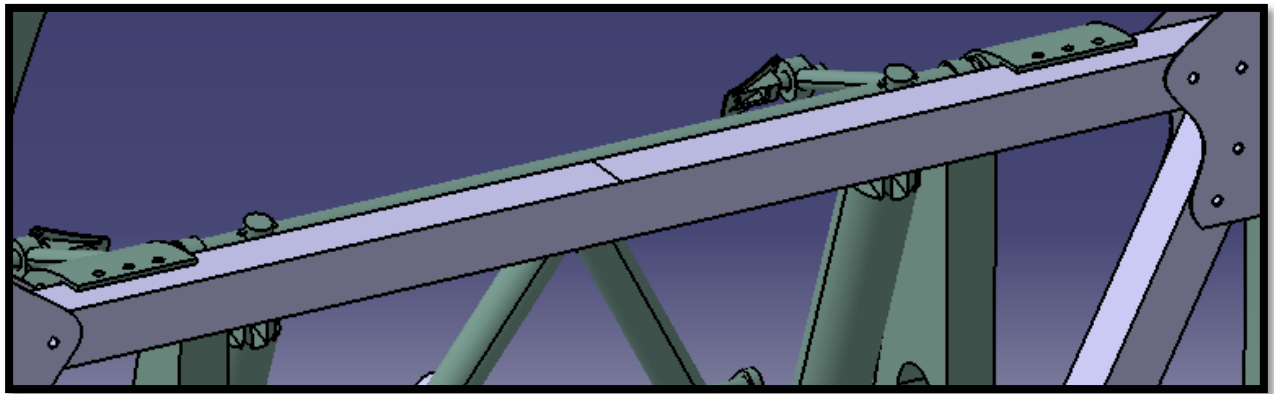


Figura 5-15. Barra horizontal 11 situada correctamente en el conjunto Costilla 11 previa realización de extrusión y vaciado

5.1.2.6 Barra diagonal 11

En este caso tenemos dos barras, también de sección cuadrada de lado 27 mm, que se sitúan en la mitad inferior de la costilla, unidas al resto de la estructura por los refuerzos inferiores y los laterales. Debe garantizar la no colisión con otras piezas del conjunto, por lo que se le dan cortes en los extremos de acuerdo a estas condiciones (hecho que podemos verificar en el extremo inferior de la barra en el *Sketch* correspondiente).

La dinámica seguida para el modelado es la que sigue: *Sketch*, *Pad* para dar espesor y *Pocket* para realizar el taladrado (todos de 5 mm de diámetro).

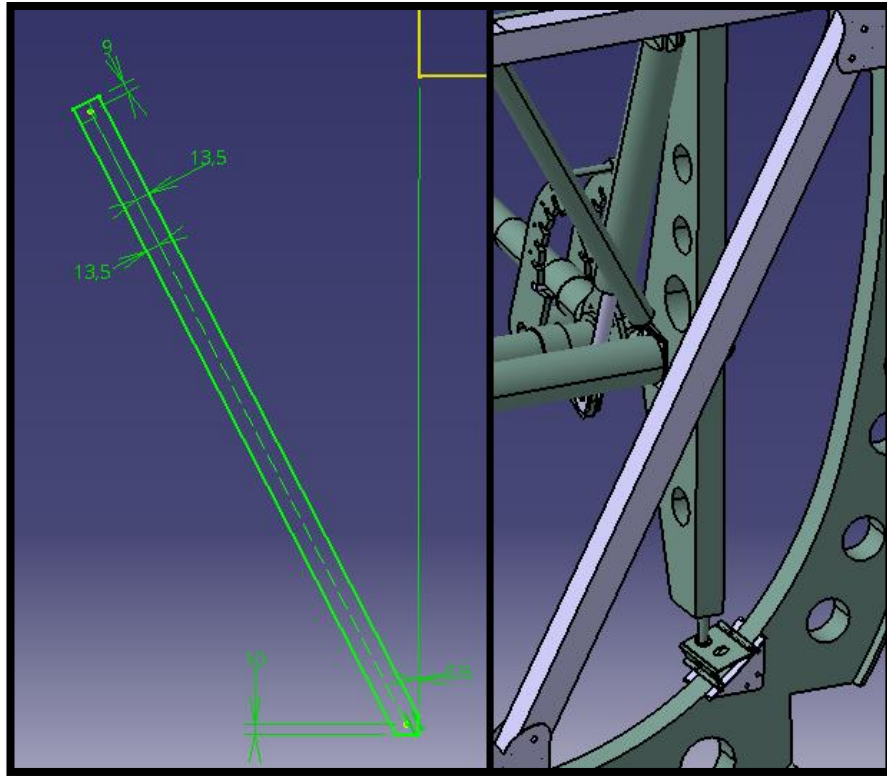


Figura 5-16. Barra diagonal 11: Sketch y pieza final situada correctamente en el conjunto Costilla 11 previa realización de extrusión y vaciado

5.1.2.7 Placa armadura para la cabeza (Head armour 11)

Esta placa se encuentra en la parte superior de la costilla 11 y sirve como apoyo para la cabeza del piloto y de protección a posibles impactos en dicha posición. A ella se encuentra acoplada otra pieza, para el cinturón de seguridad, por lo que contará con una serie de agujeros en su superficie tanto para su propia sujeción al conjunto, como para la unión de la susodicha pieza.

En los planos de costilla contamos con información suficiente para modelarla, previa determinación de la escala del papel, realizando las medidas que sean necesarias. En base a esta información dibujamos el perfil (*Sketch*) al que damos un espesor de 6 mm mediante la orden *Pad*. Sobre la superficie dibujamos los agujeros (circunferencias de 5 mm de diámetro) y realizamos el vaciado con *Pocket*.

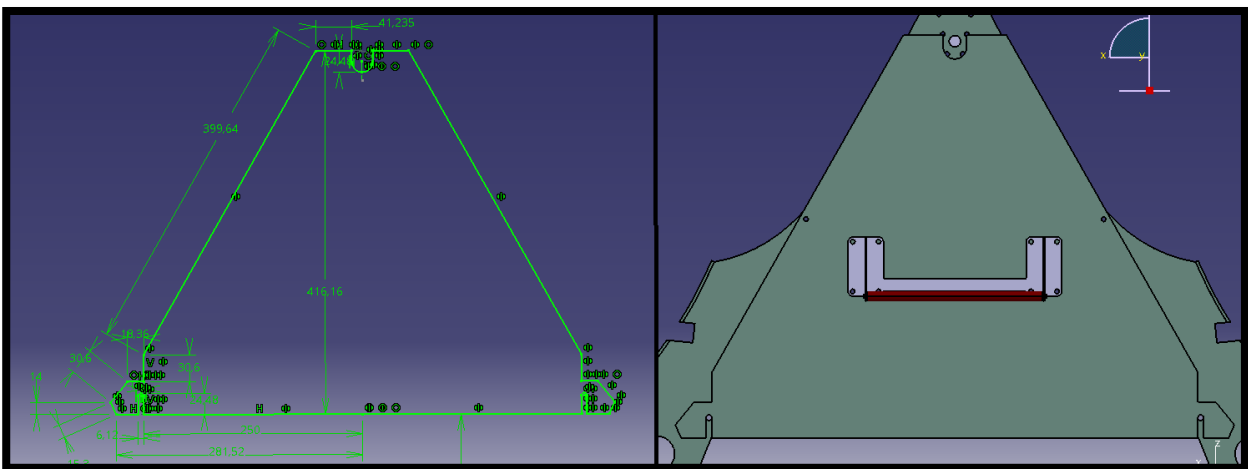


Figura 5-17. Head armour 11: Sketch y pieza final situada en el conjunto Costilla 11 tras extrusión y vaciado

5.1.2.8 Agarre para el cinturón de seguridad (Shoulder belt seat roller 11)

Se trata de una pieza realizada por soldadura y compuesta de tres placas. Una primera en el plano zx que sirve como unión a la placa armadura explicada en el apartado anterior y otras dos laterales situadas en planos paralelos al yz. Estas dos placas sirven de soporte para un cilindro de diámetro 5 mm sobre el que se sitúa otro cilindro hueco de diámetro 10 mm y espesor 2 mm (activamos la opción *Thick*), en el que se situaría y giraría el cinturón.

En este caso disponemos de planos para el modelado de una pieza similar a la original, pero no con todo lujo de detalles, puesto que se trata de una pieza de reducido tamaño y los planos representan la costilla en su conjunto. Comenzamos realizando la placa del plano xy (*Sketch*, seguido de *Pad* para dar 1 mm de espesor y finalmente *Pocket* con los 8 remaches que le sirven de unión a la Head Armour), seguimos con el modelado de la placa cuyo perfil dibujamos a 91.8 mm del plano yz (*Pad mirrored extent* de 0.5 mm, seguido de *Pocket* para el agujero donde se sitúa el cilindro de 5 mm de diámetro), realizamos simetría de esta última placa con respecto al plano yz y, finalmente, realizamos el modelado de ambos cilindros concéntricos.

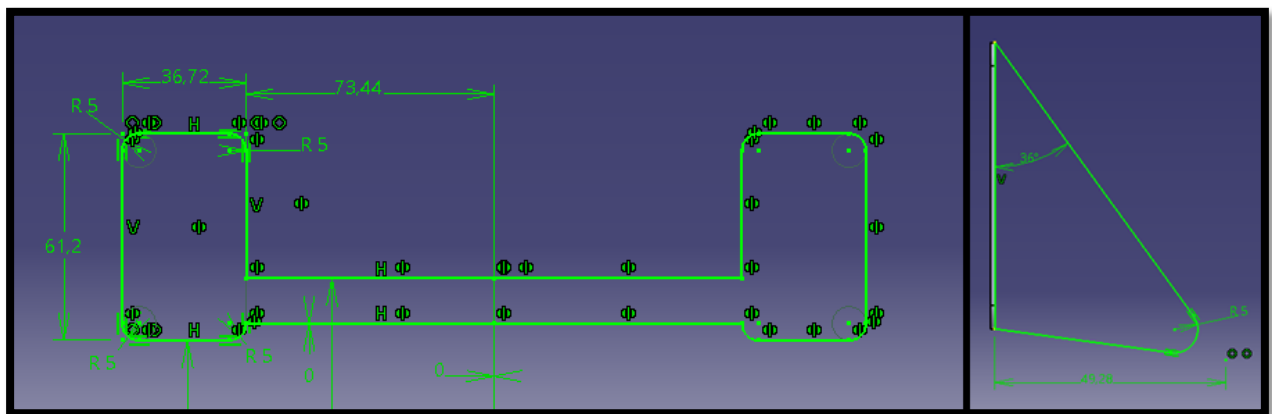


Figura 5-18. Shoulder belt seat roller 11: A la izquierda sketch correspondiente a la placa del plano xy y a la derecha el correspondiente a las placas laterales

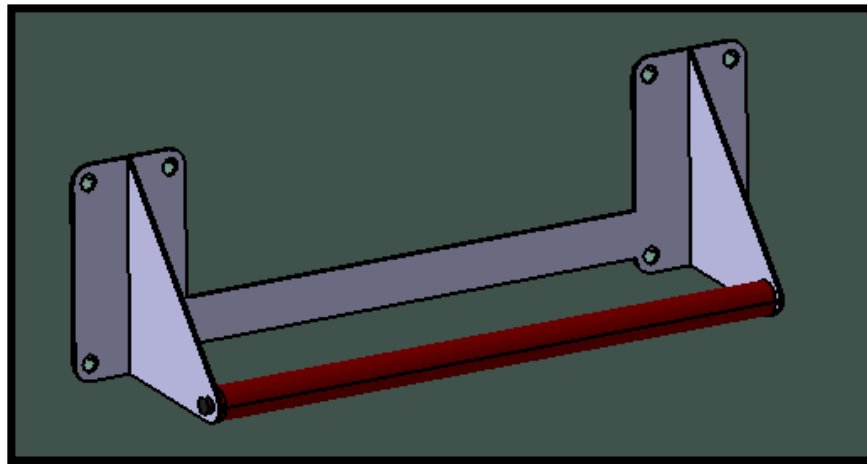


Figura 5-19. Shoulder belt seat roller 11 sobre la placa armadura previa realización de extrusión y vaciado. Todos los taladros se realizan con circunferencias de 5 mm de diámetro.

5.1.2.9 Estructura de sujeción del asiento (Seat mounting frame 11)

Se trata de un conjunto muy complejo compuesto por un gran número de piezas y cuyo fin es servir como estructura de sujeción del asiento del piloto. Entre sus componentes encontramos barras, amortiguadores, mecanismos para el movimiento del asiento...

Hemos tratado de recrear esta estructura de la forma más precisa y fiel a la realidad, aunque simplificando

algunas de sus partes, de manera que los mecanismos no entran en funcionamiento estando todos los grados de libertad reducidos a cero. Iremos analizando cada una de las piezas que lo componen sin entrar en mucho detalle acerca del proceso de modelado seguido, que sustituiremos por imágenes significativas de las piezas en cuestión.

Una vez hechos todos los componentes, procedemos a asociar la posición de unos y otros mediante el uso de restricciones hasta que finalmente todos quedan correctamente colocados en el espacio, sin grados de libertad.

5.1.2.9.1 Pieza Principal

Secuencia de operaciones:

1. Pad:

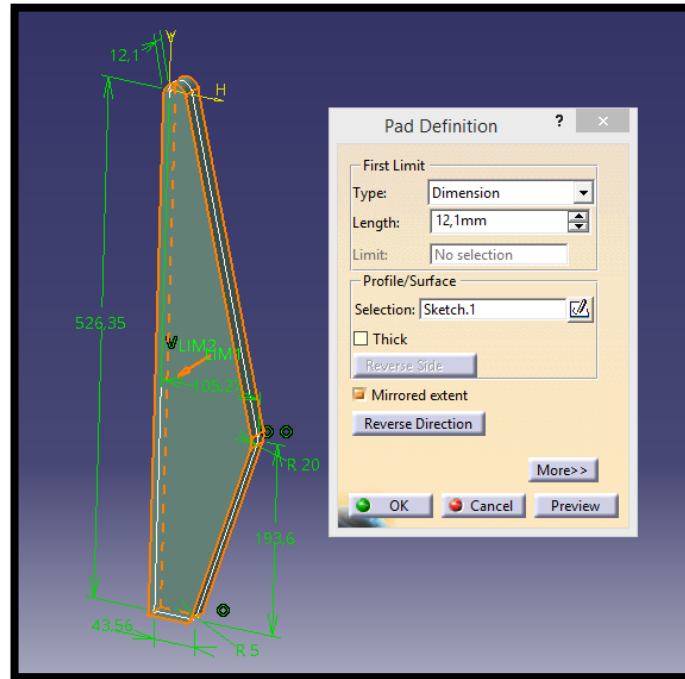


Figura 5-20. Seat mounting frame 11: Pad parte principal

2. Slot:

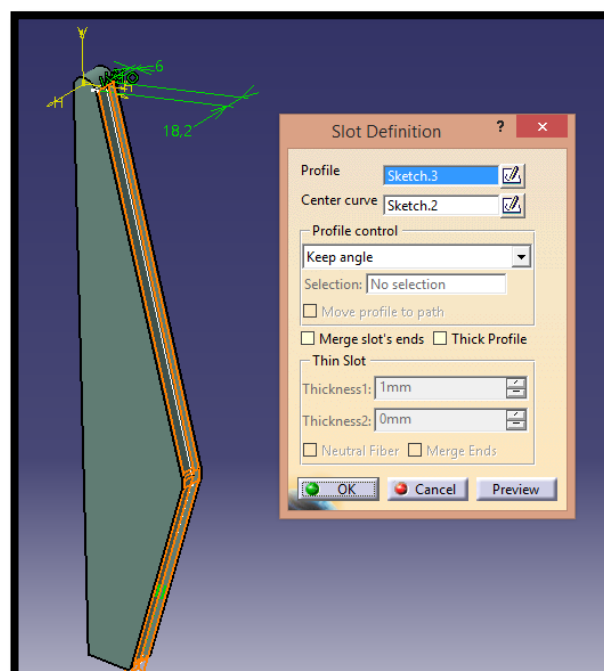


Figura 5-21. Seat mounting frame 11: Slot parte principal

3. *Multi-sections Solid:*

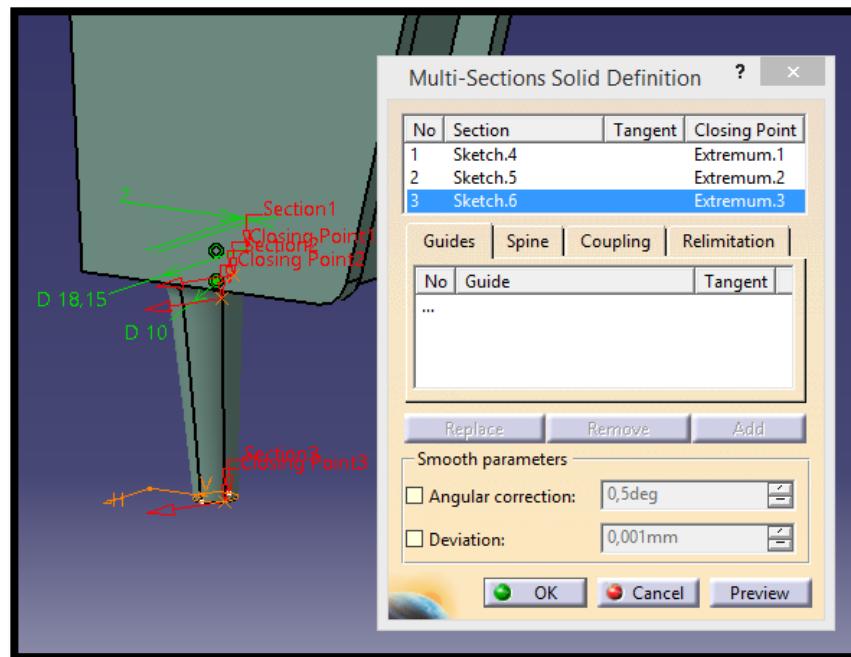


Figura 5-22. Seat mounting frame 11: Multi-sections Solid parte principal

4. *Pocket:*

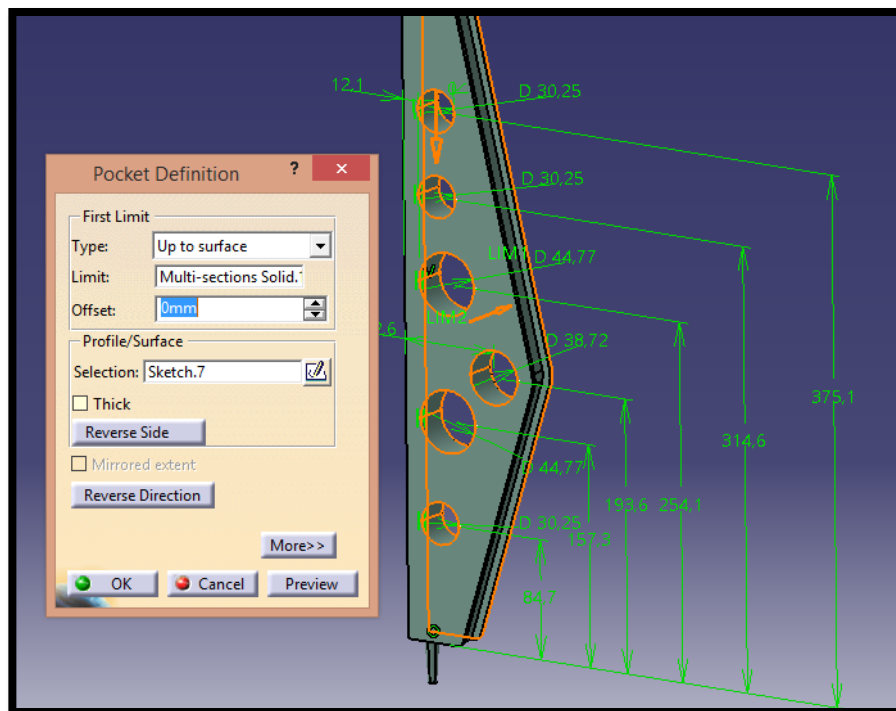


Figura 5-23. Seat mounting frame 11: Pocket.1 parte principal

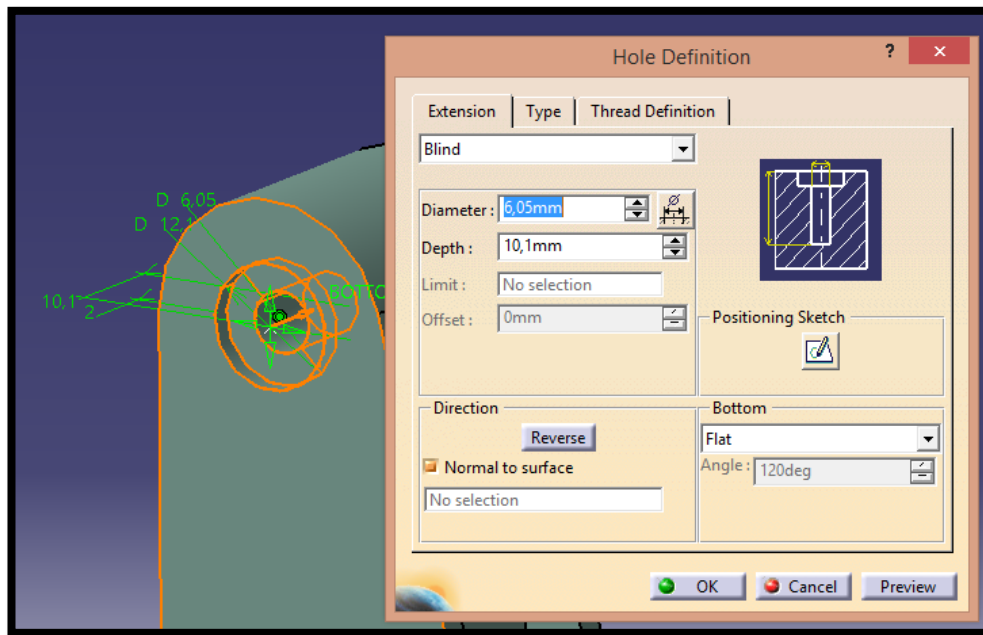
5. *Hole:*

Figura 5-24. Seat mounting frame 11: Hole parte principal

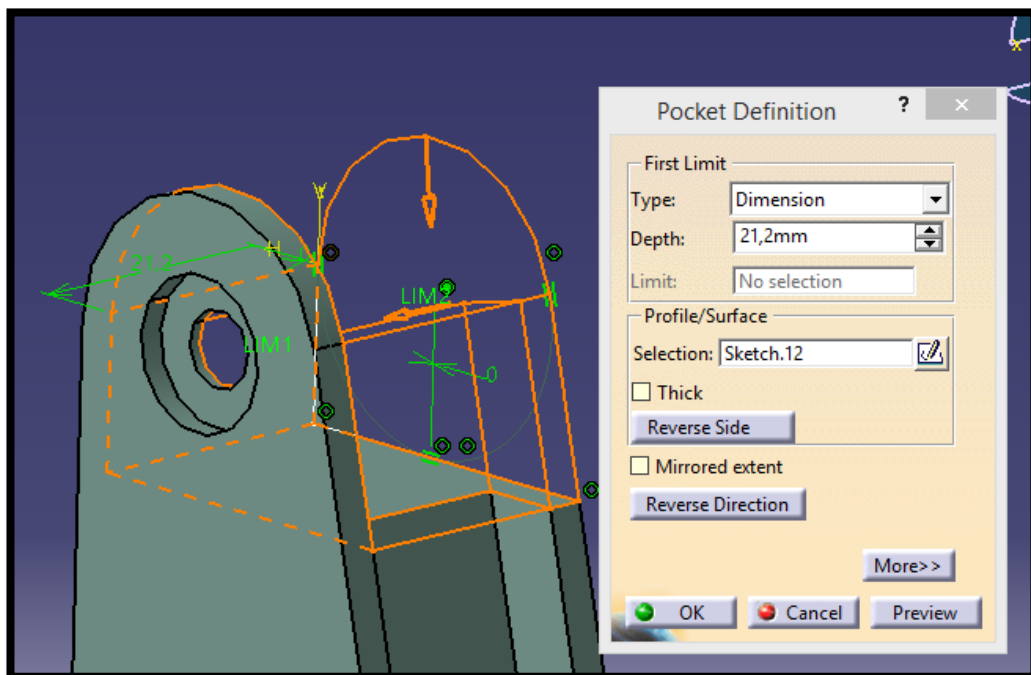
6. *Pocket:*

Figura 5-25. Seat mounting frame 11: Pocket.2 parte principal

5.1.2.9.2 Barra superior

Secuencia de operaciones:

1. *Pad*:

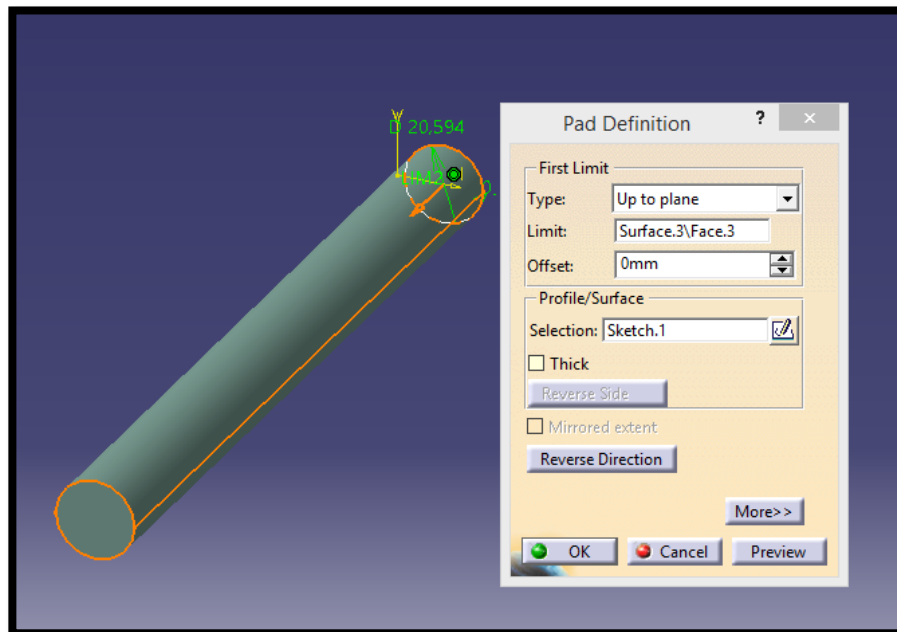


Figura 5-26. Seat mounting frame 11: Pad barra superior

2. *Pocket*:

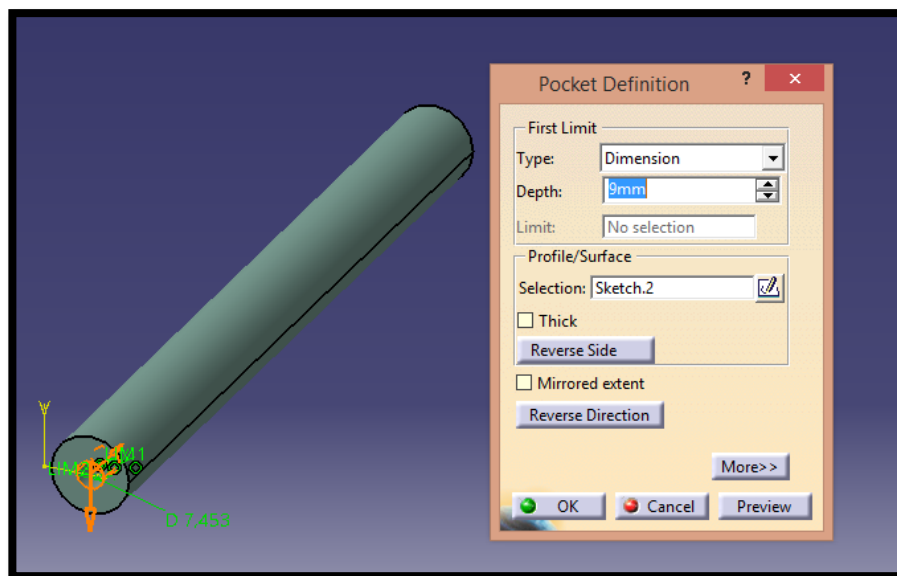


Figura 5-27. Seat mounting frame 11: Pocket barra superior

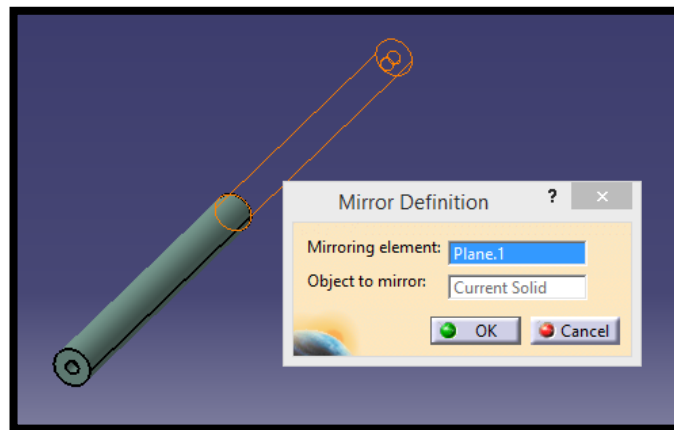
3. *Mirror:*

Figura 5-28. Seat mounting frame 11: Mirror barra superior

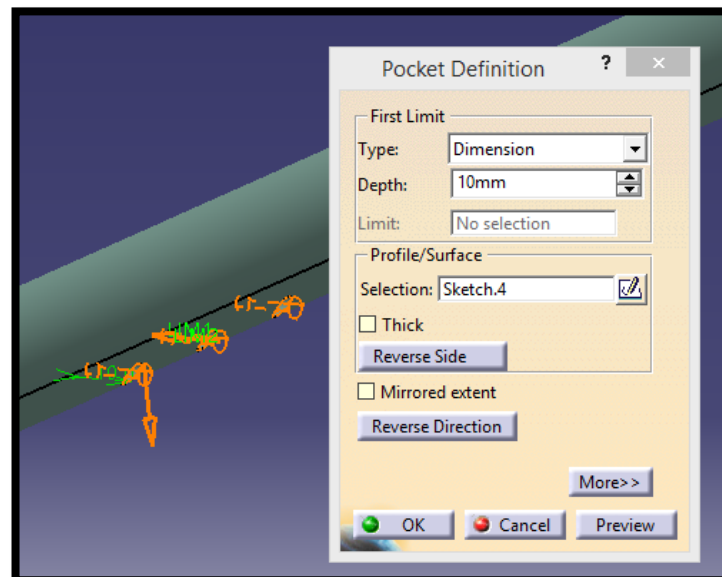
4. *Pocket:*

Figura 5-29. Seat mounting frame 11: Pocket.2 barra superior

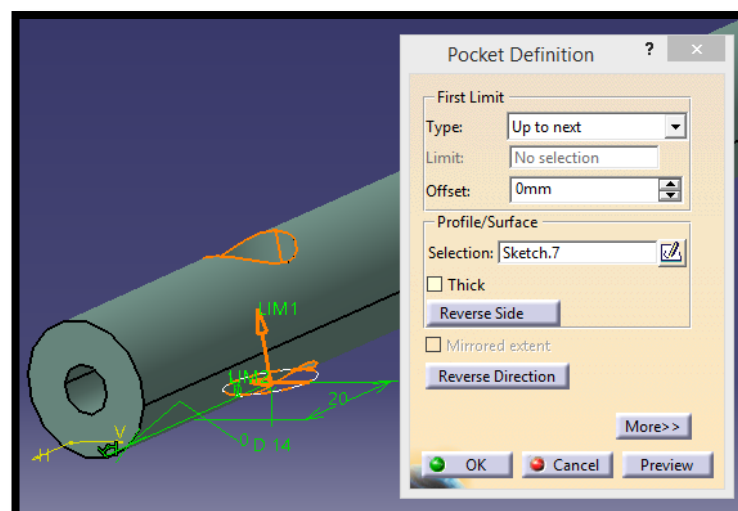
5. *Pocket:*

Figura 5-30. Seat mounting frame 11: Pocket.3 barra superior

6. *Mirror*: Simetría del agujero anterior con respecto al plano 1 (plano usado en la simetría anterior).

5.1.2.9.3 Pieza 1 del amortiguador

Secuencia de operaciones:

1. *Pad*:

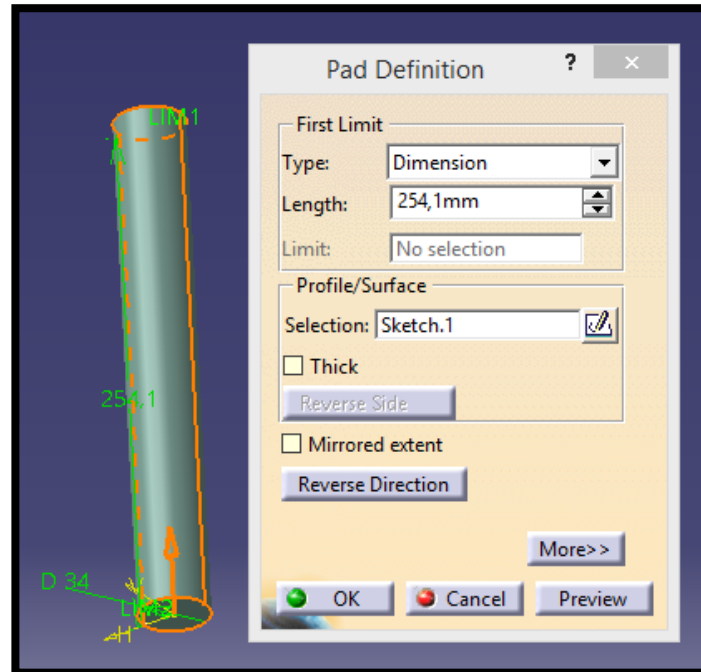


Figura 5-31. Seat mounting frame 11: Pad pieza 1 amortiguador

2. *Pad*:

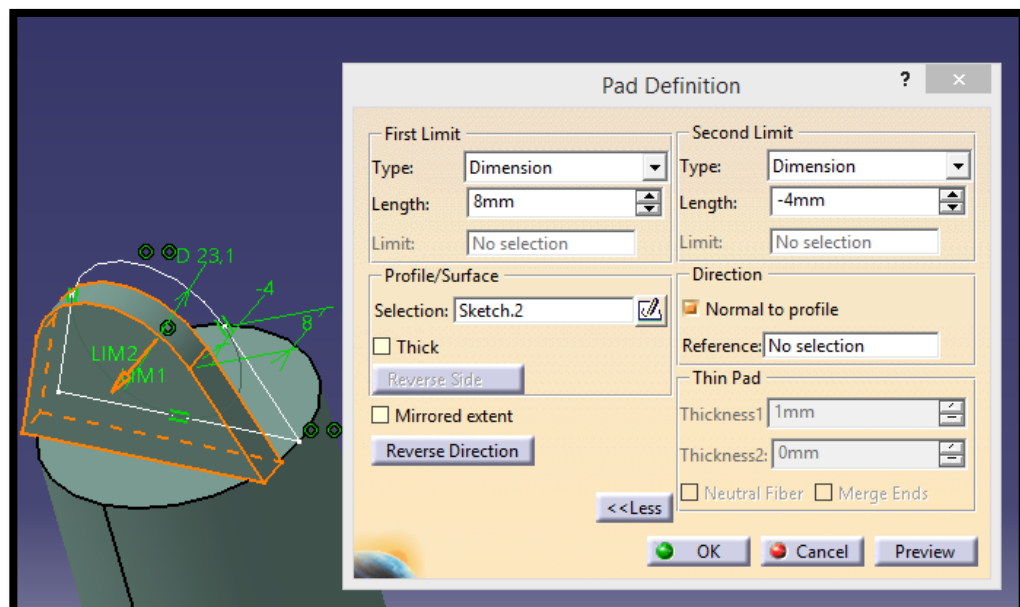


Figura 5-32. Seat mounting frame 11: Pad.2 pieza 1 amortiguador

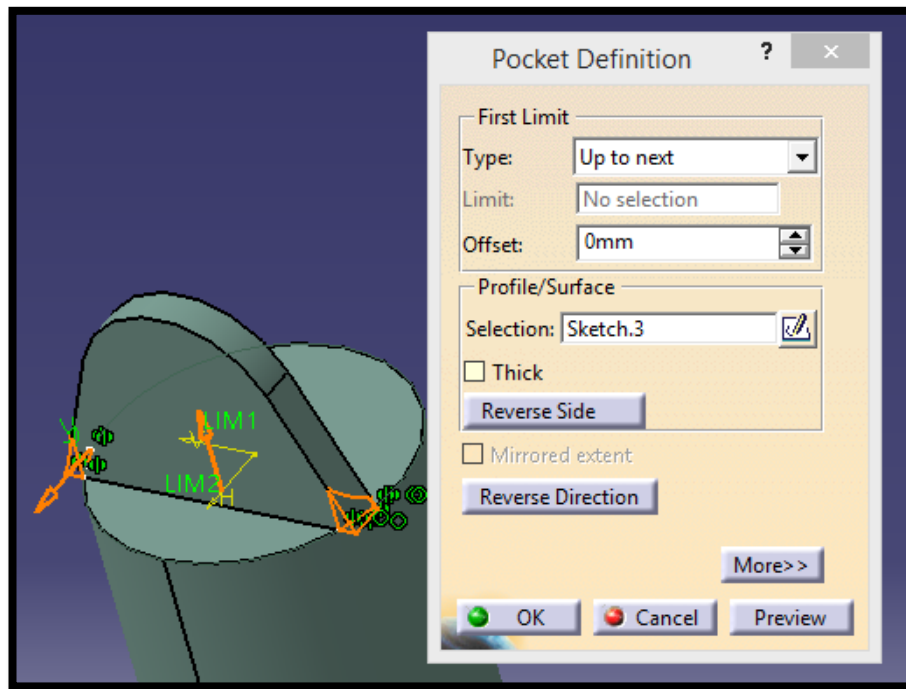
3. *Pocket:*

Figura 5-33. Seat mounting frame 11: Pocket pieza 1 amortiguador

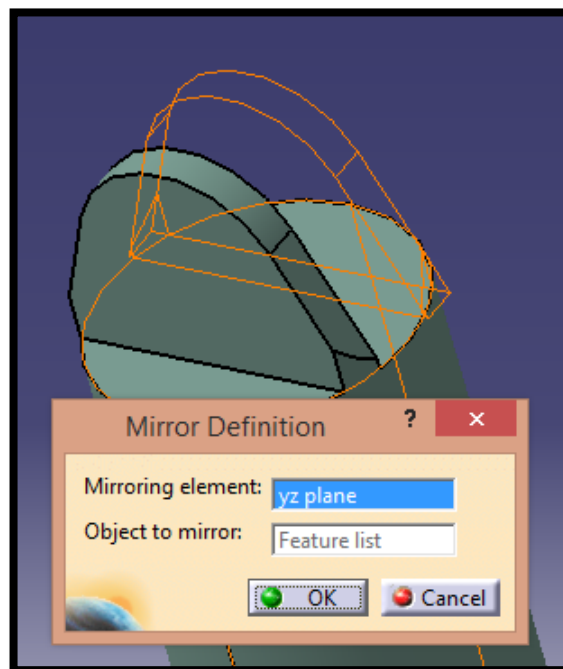
4. *Mirror:*

Figura 5-34. Seat mounting frame 11: Mirror pieza 1 amortiguador

5. Pocket:

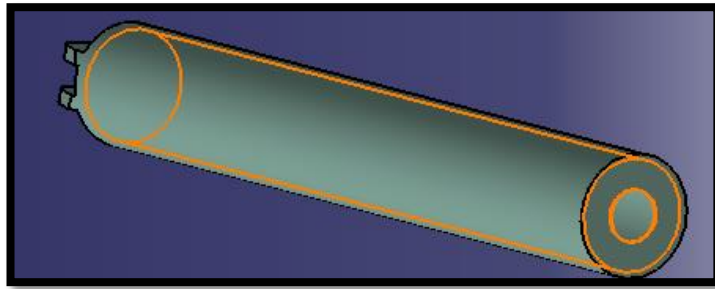


Figura 5-35. Seat mounting frame 11: Pocket.2 pieza 1 amortiguador

5.1.2.9.4 Pieza 2 del amortiguador

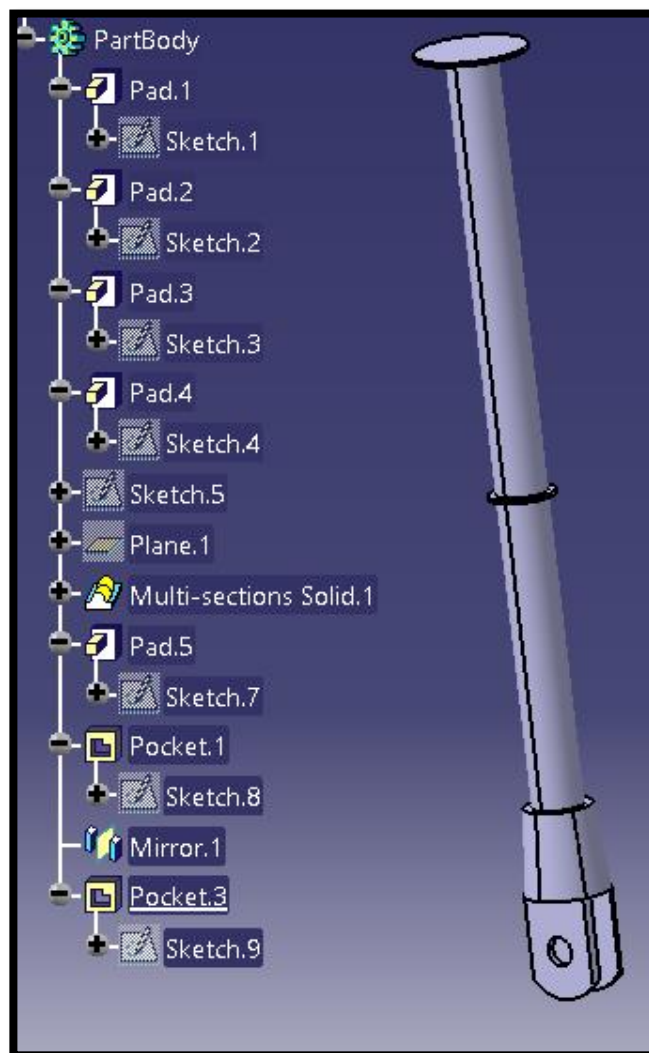


Figura 5-36. Seat mounting frame 11: Pieza 2 amortiguador + árbol de operaciones

5.1.2.9.5 Pieza 3 del amortiguador

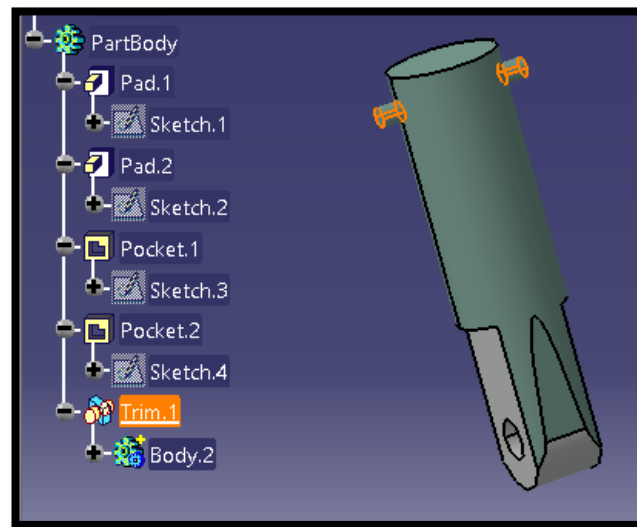


Figura 5-37. Seat mounting frame 11: Pieza 3 amortiguador + árbol de operaciones

5.1.2.9.6 Barra diagonal

Secuencia de operaciones:

1. *Rib*:

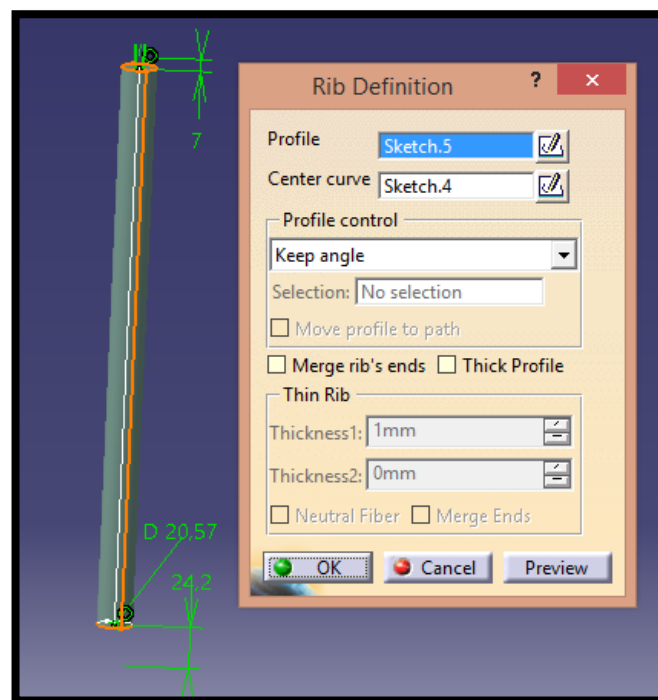


Figura 5-38. Seat mounting frame 11: Rib barra diagonal

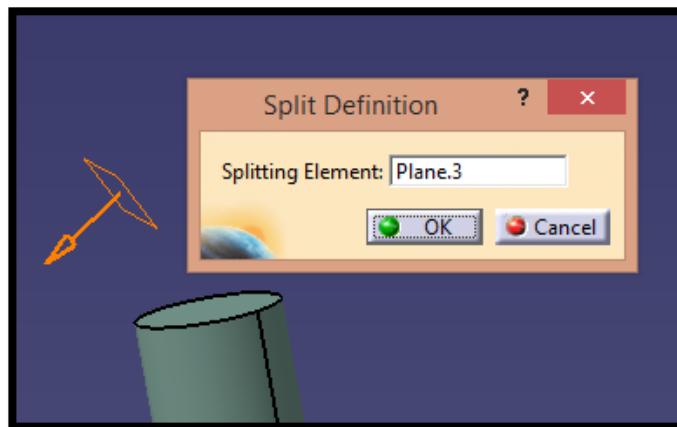
2. *Split*:

Figura 5-39. Seat mounting frame 11: Split barra diagonal

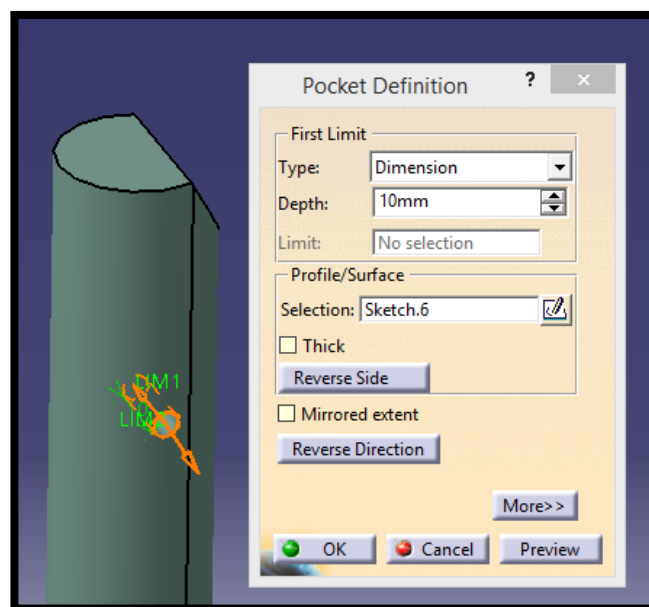
3. *Pocket*:

Figura 5-40. Seat mounting frame 11: Pocket barra diagonal

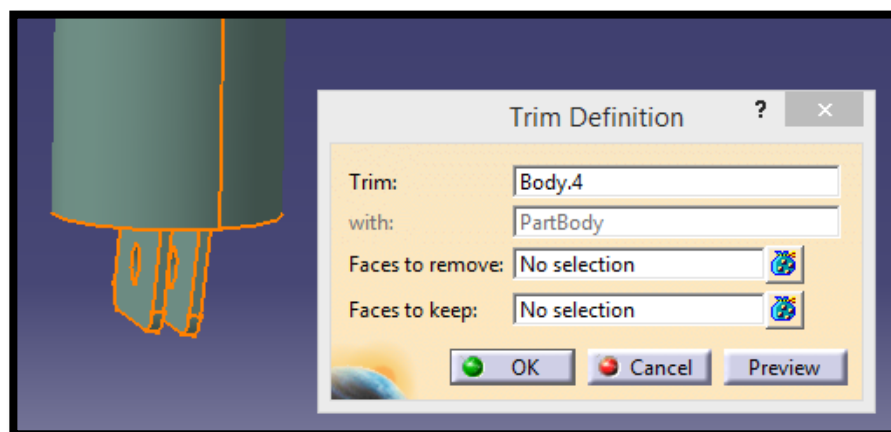
4. *Trim*:

Figura 5-41. Seat mounting frame 11: Union trim barra diagonal

5.1.2.9.7 Barra inferior

Secuencia de operaciones:

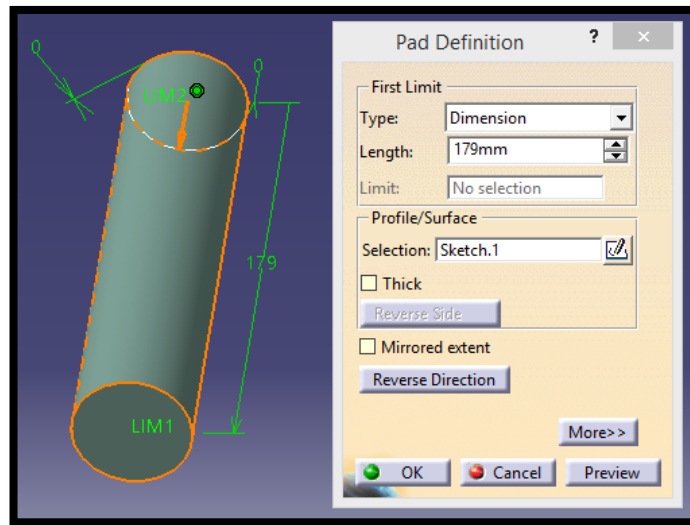
1. *Pad*:

Figura 5-42. Seat mounting frame 11: Pad barra inferior

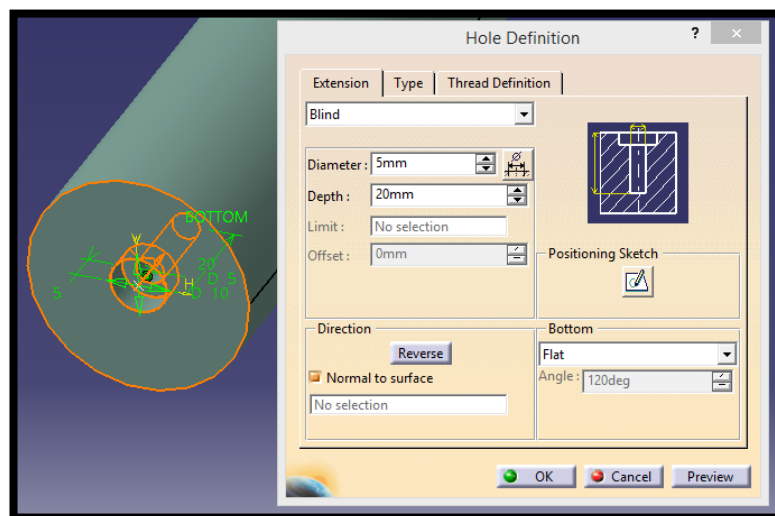
2. *Hole*:

Figura 5-43. Seat mounting frame 11: Hole barra inferior

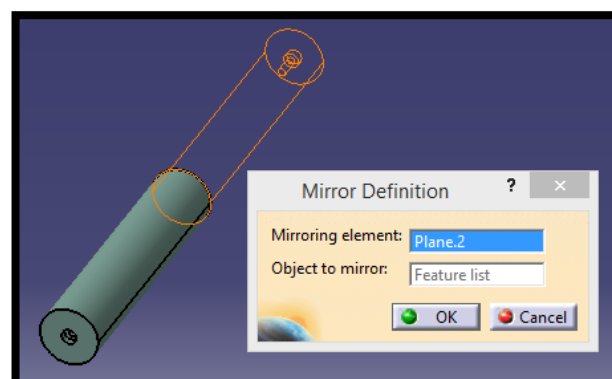
3. *Mirror*:

Figura 5-44. Seat mounting frame 11: Mirror barra inferior

5.1.2.9.8 Pestillo superior 1

Secuencia de operaciones:

1. *Pad*:

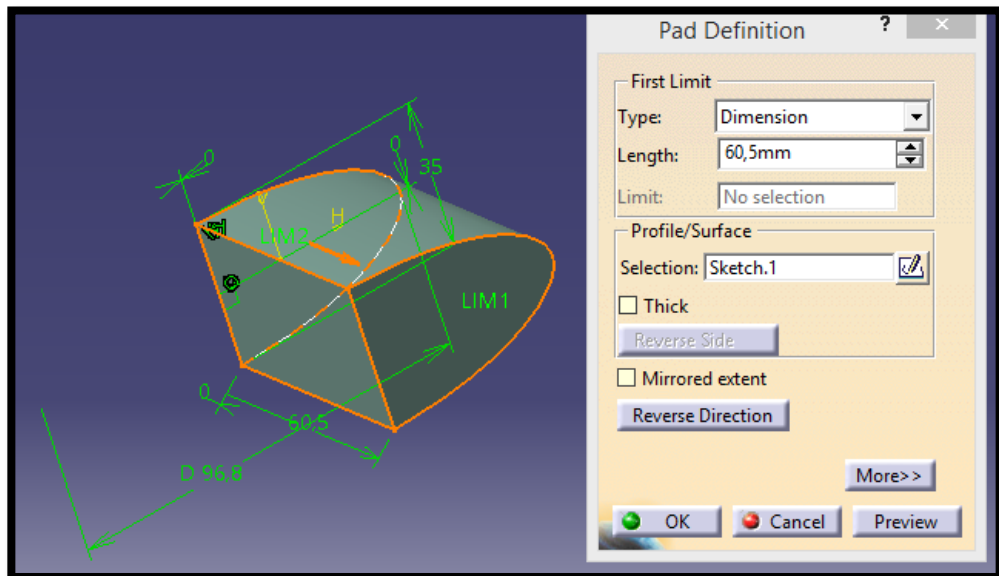


Figura 5-45. Seat mounting frame 11: Pad pestillo 1

2. *Pocket*:

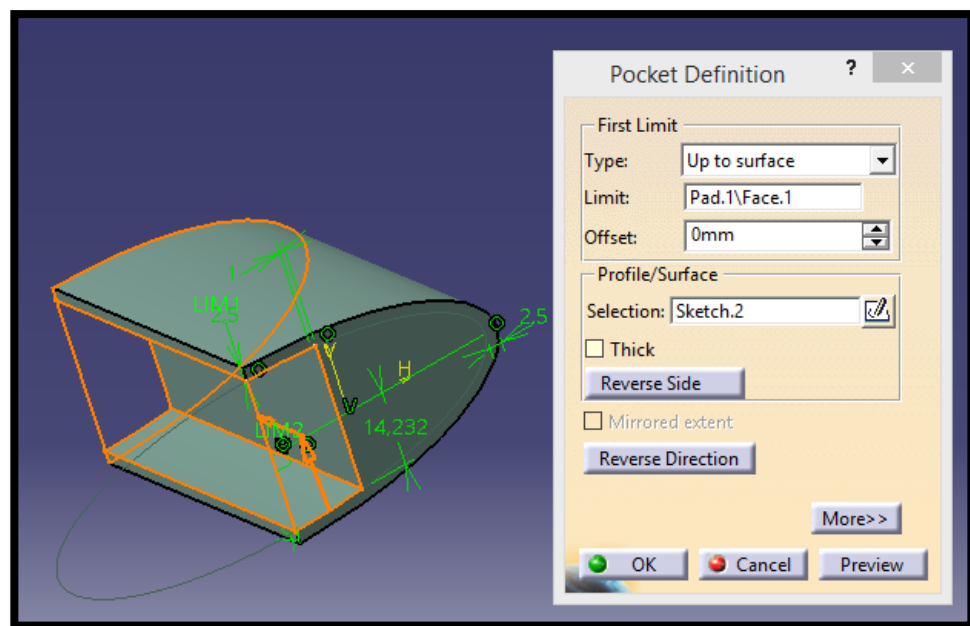


Figura 5-46. Seat mounting frame 11: Pocket pestillo 1

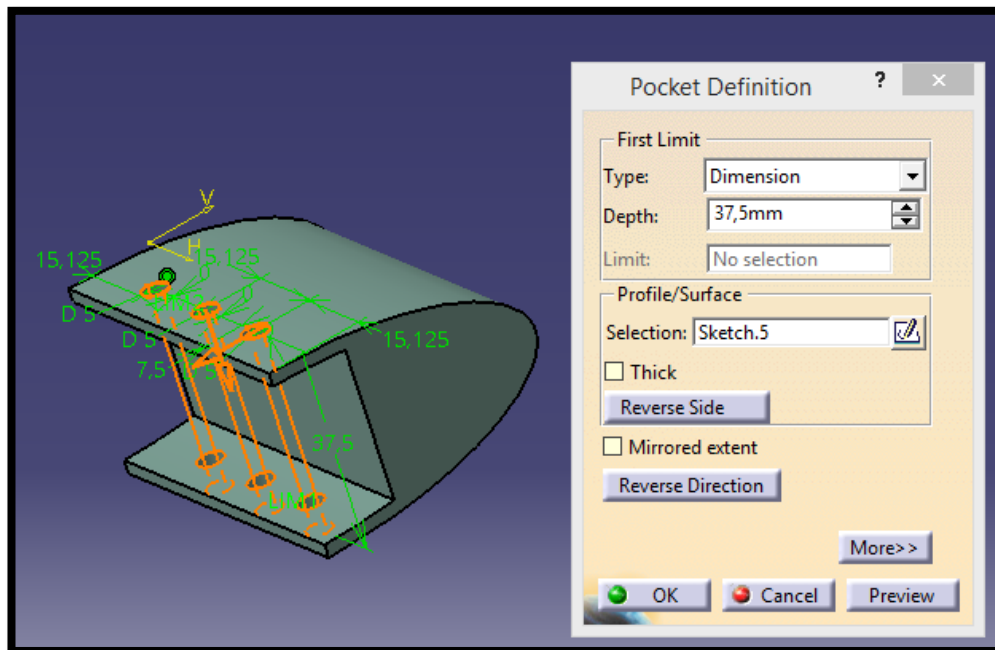
3. *Pocket:*

Figura 5-47. Seat mounting frame 11: Pocket.2 pestillo 1

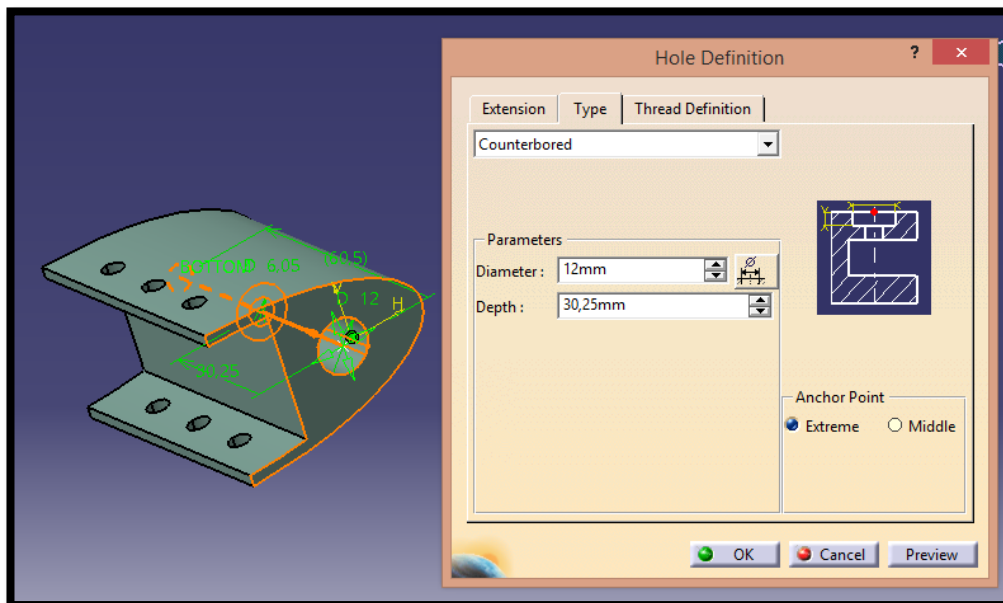
4. *Hole:*

Figura 5-48. Seat mounting frame 11: Hole pestillo 1

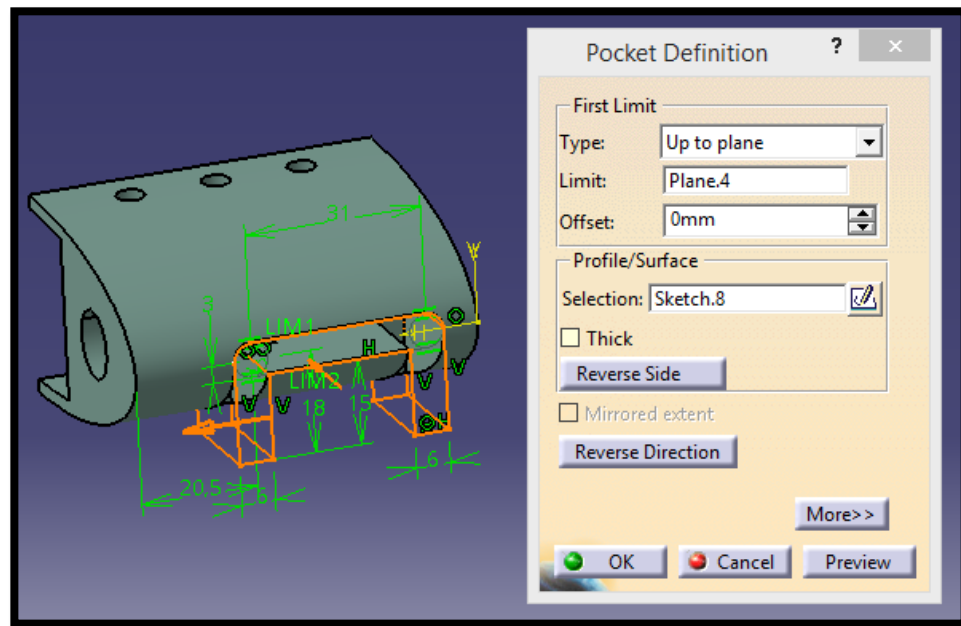
5. *Pocket:*

Figura 5-49. Seat mounting frame 11: Pocket.3 pestillo 1

5.1.2.9.9 Pestillo superior 2

Secuencia de operaciones:

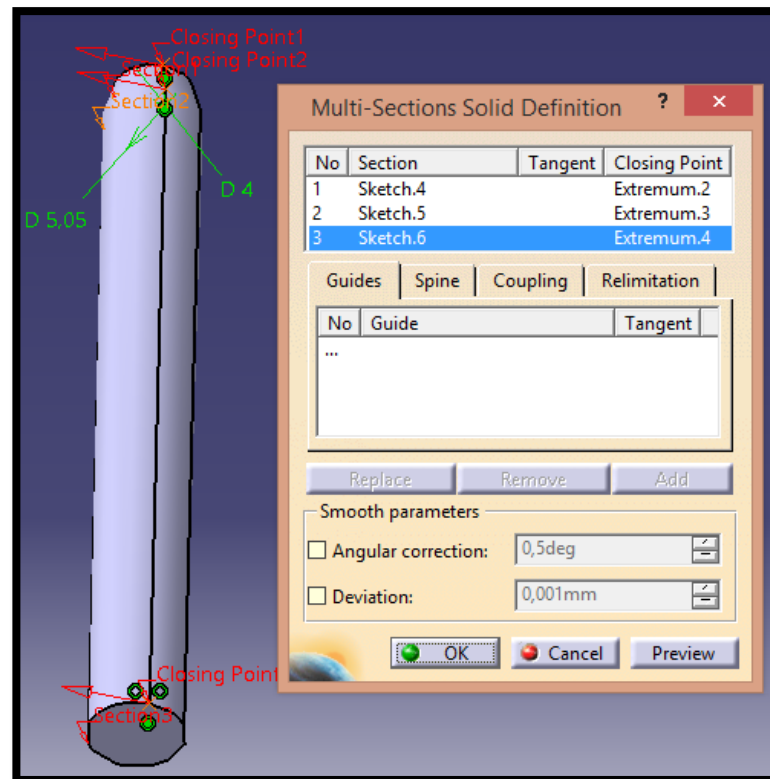
1. *Multi-sections Solid:*

Figura 5-50. Seat mounting frame 11: Multi-sections Solid pestillo superior 2

2. Pad:

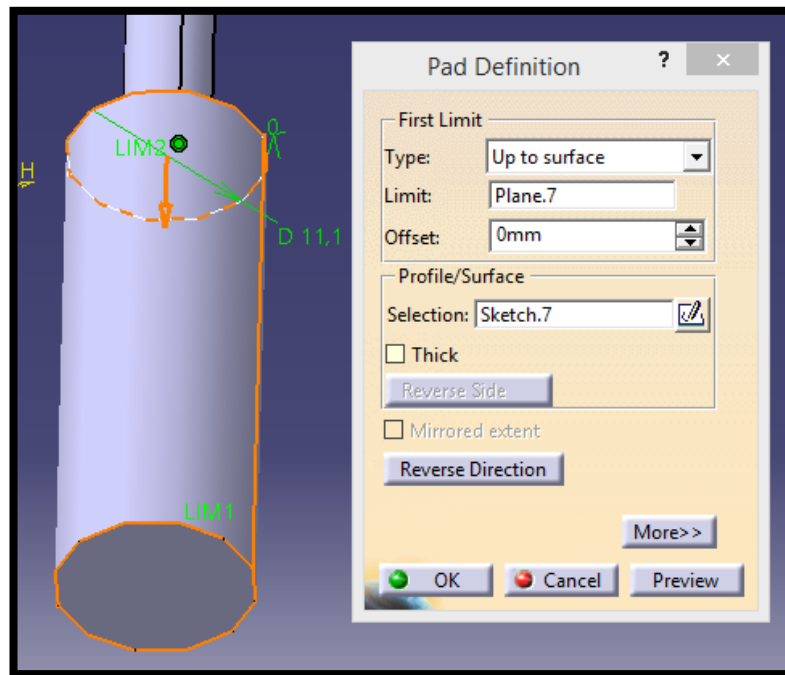


Figura 5-51. Seat mounting frame 11: Pad pestillo superior 2

3. Pad:

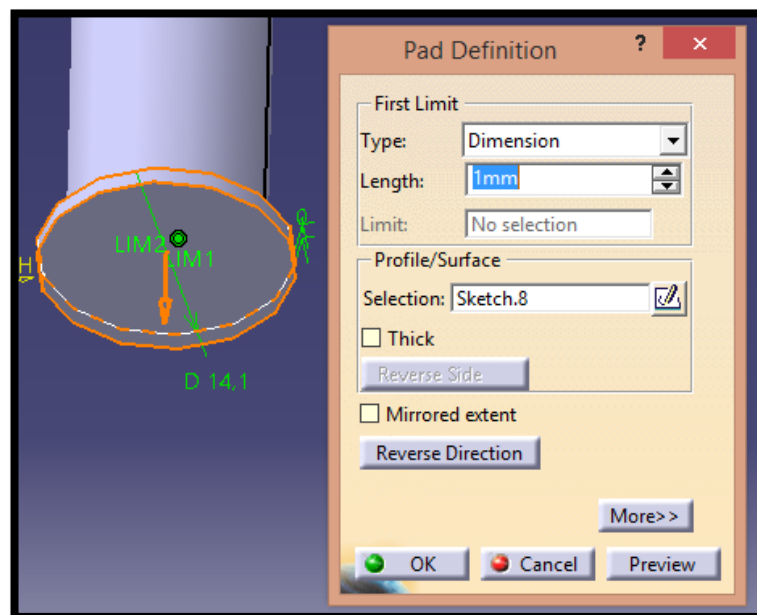


Figura 5-52. Seat mounting frame 11: Pad.2 pestillo superior 2

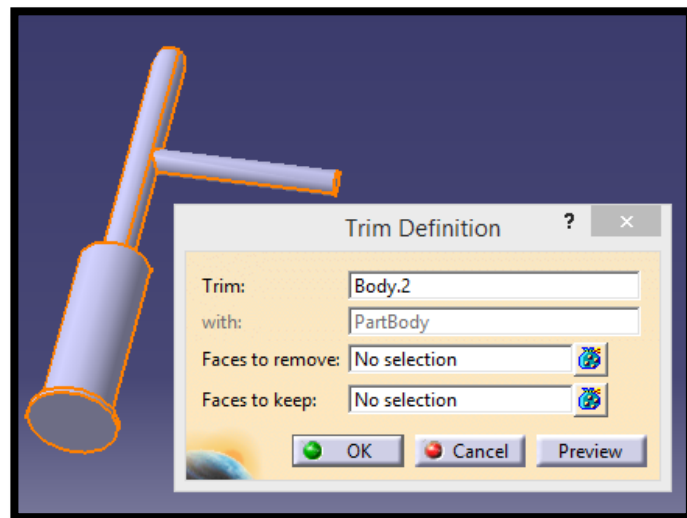
4. *Trim:*

Figura 5-53. Seat mounting frame 11: Union trim pestillo superior 2

5.1.2.9.10 Sujeción inferior 1

Secuencia de operaciones:

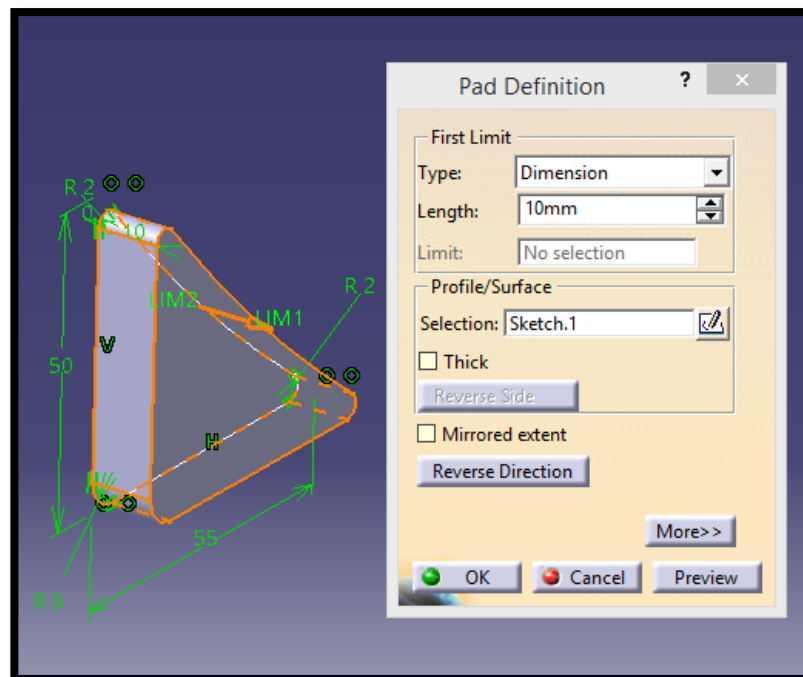
1. *Pad:*

Figura 5-54. Seat mounting frame 11: Pad sujeción inferior 1

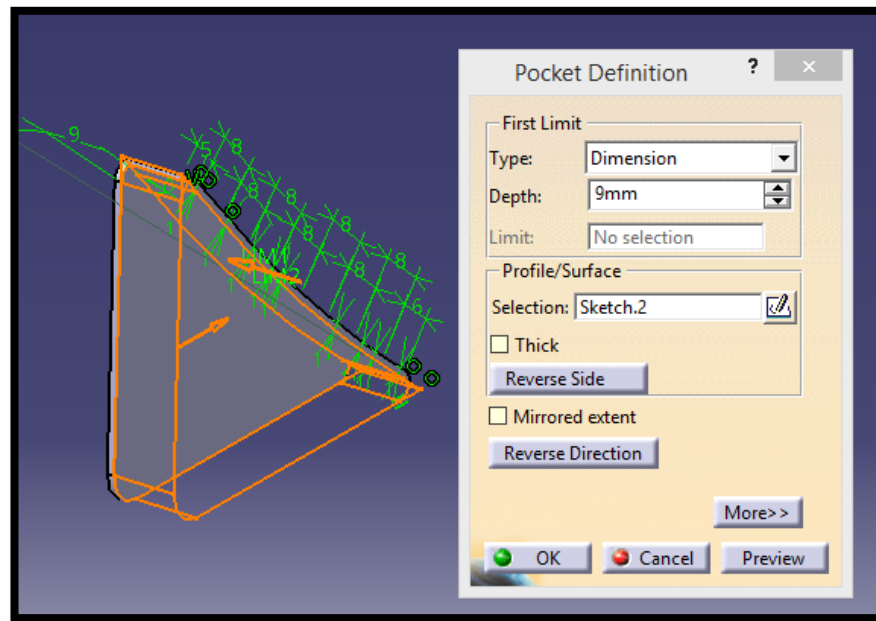
2. *Pocket:*

Figura 5-55. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción inferior 1

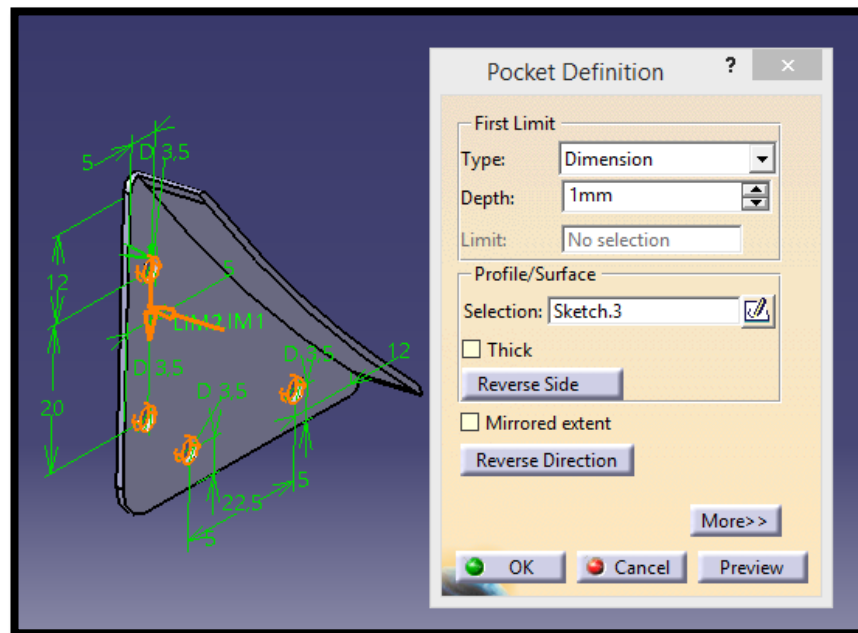
3. *Pocket:*

Figura 5-56. Seat mounting frame 11: Pocket.2 sujeción inferior 1

4. Hole:

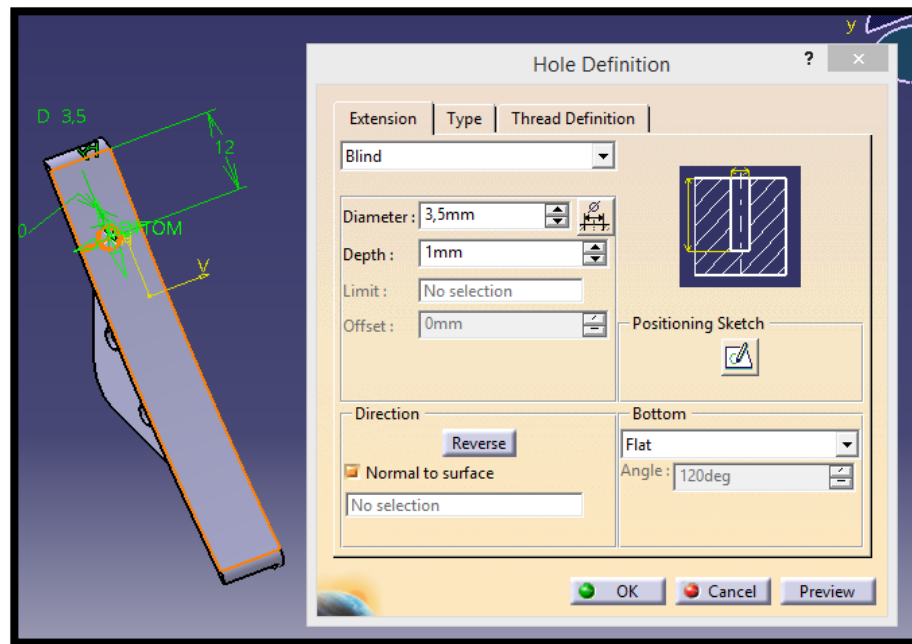


Figura 5-57. Seat mounting frame 11: Hole sujeción inferior 1

5. Hole:

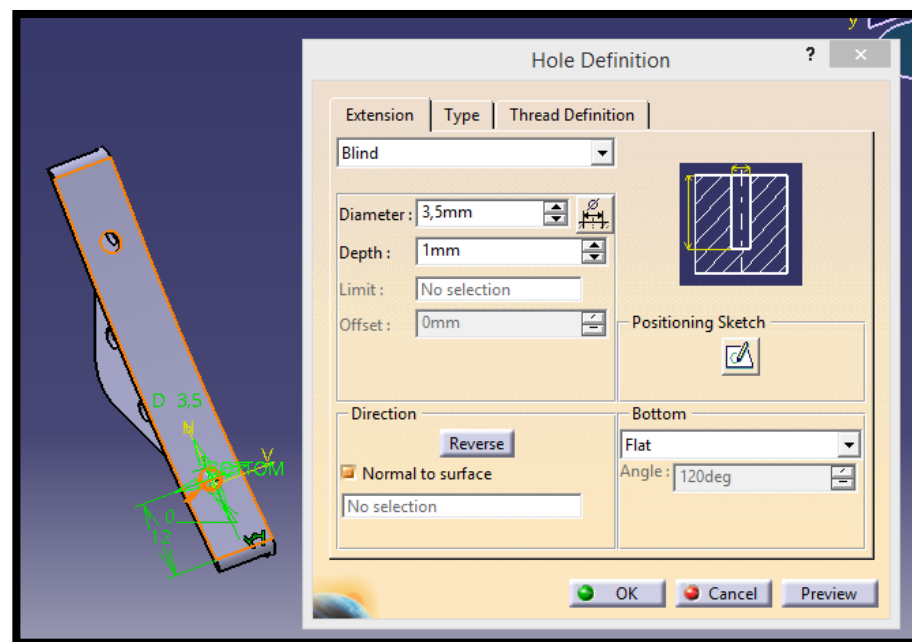


Figura 5-58. Seat mounting frame 11: Hole.2 sujeción inferior 1

5.1.2.9.11 Sujeción inferior 2

Secuencia de operaciones:

1. *Pad:*

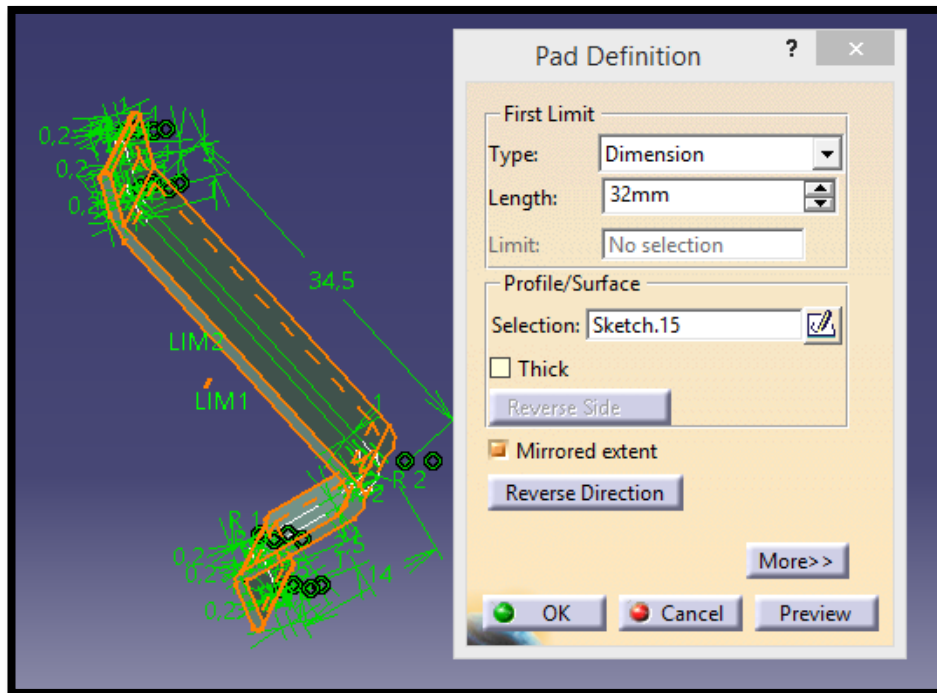


Figura 5-59. Seat mounting frame 11: Pad sujeción inferior 2

2. *Holes:*

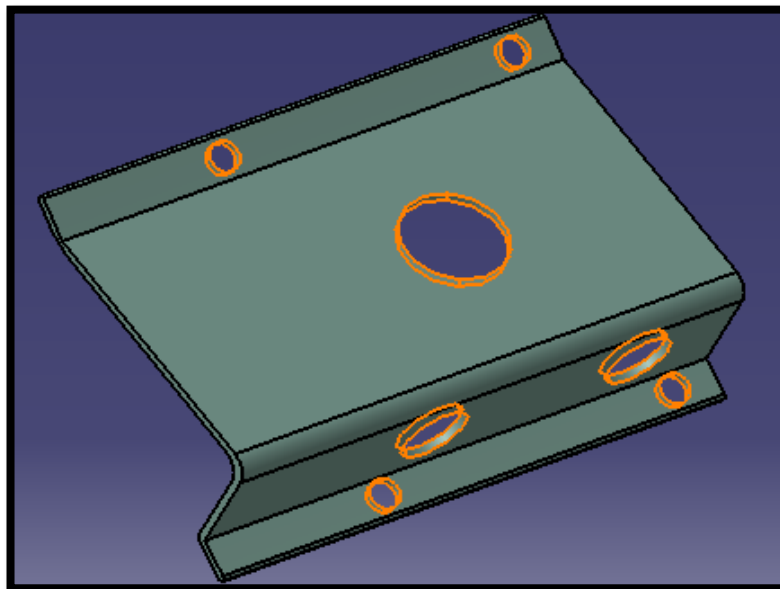


Figura 5-60. Seat mounting frame 11: Holes sujeción inferior 2

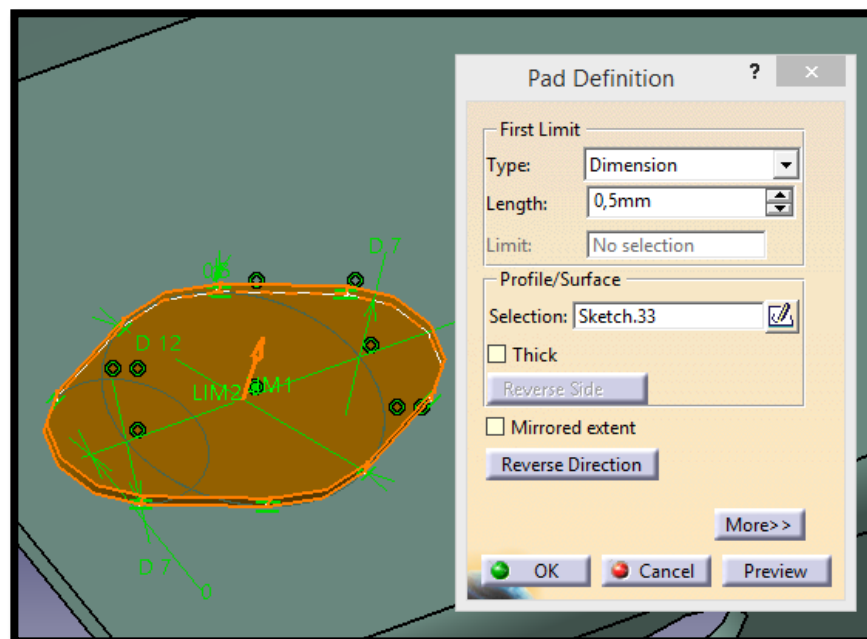
3. *Pad:*

Figura 5-61. Seat mounting frame 11: Pad.2 sujeción inferior 2

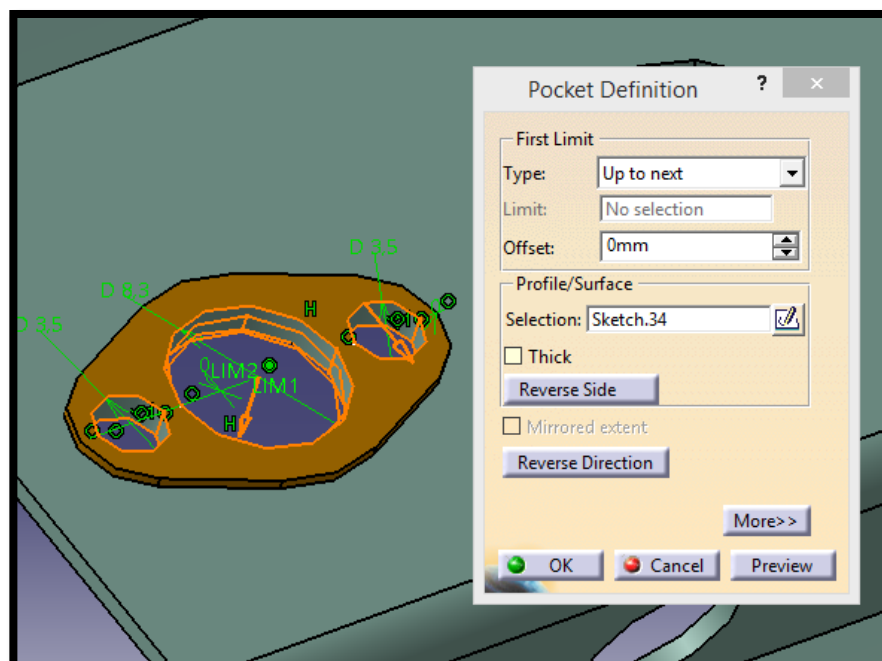
4. *Pocket:*

Figura 5-62. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción inferior 2

5.1.2.9.12 Arandela, tuerca y tornillo para la barra inferior

1. Arandela:

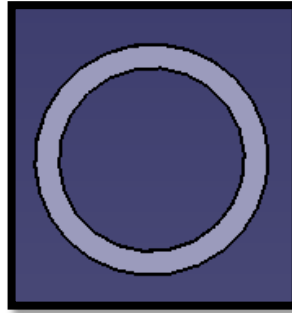


Figura 5-63. Seat mounting frame 11: Arandela de Dext 48.72 mm y Dint 38.72 mm

2. Tuerca:

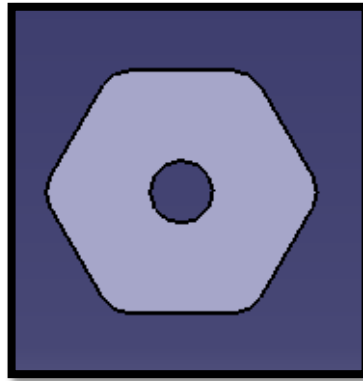


Figura 5-64. Seat mounting frame 11: Tuerca, hexágono regular de 22.35 mm y agujero de D 10 mm

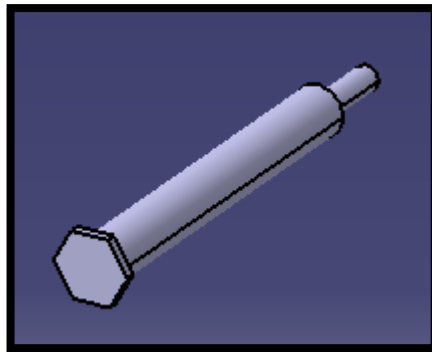
3. Tornillo: Cabeza hexagonal de lado 7.5 mm y espesor 2 mm (*Pad*); primera parte, cilindro de D 10 mm y profundidad 70 mm; segunda parte, cilindro de D 5 mm y profundidad 15 mm.

Figura 5-65. Seat mounting frame 11: Tornillo

5.1.2.9.13 Brazo oscilante superior y su sujeción

Secuencia de operaciones:

1. *Pad*:

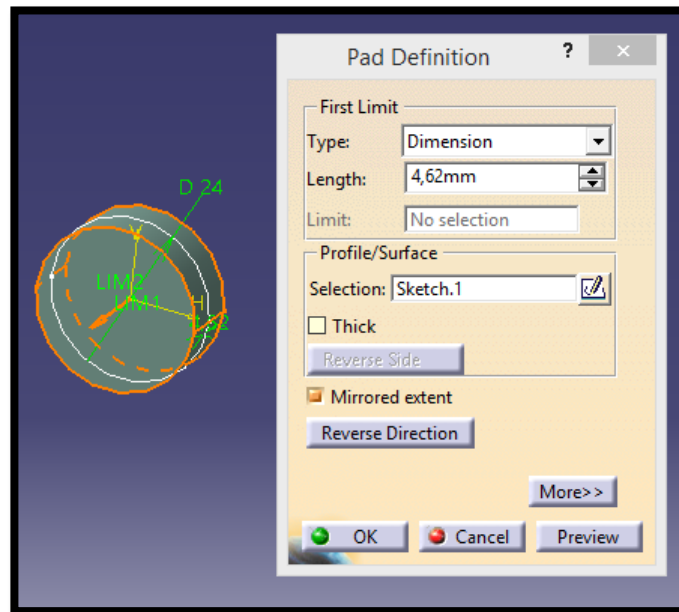


Figura 5-66. Seat mounting frame 11: Pad brazo oscilante superior

2. *Trim*:

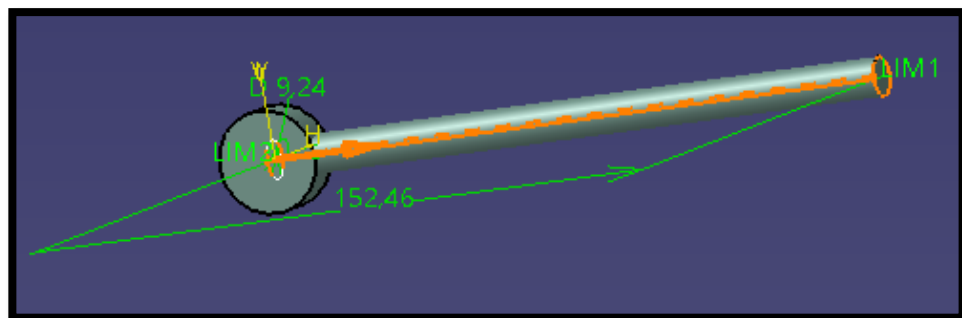


Figura 5-67. Seat mounting frame 11: Union trim brazo oscilante superior

3. *Trim*:

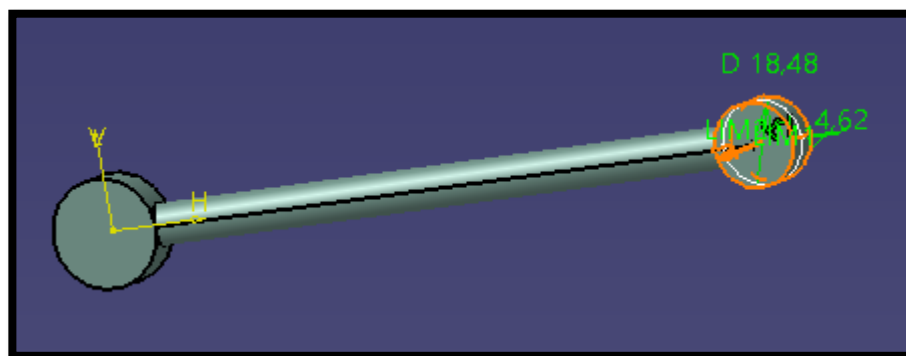


Figura 5-68. Seat mounting frame 11: Union trim.2 brazo oscilante superior

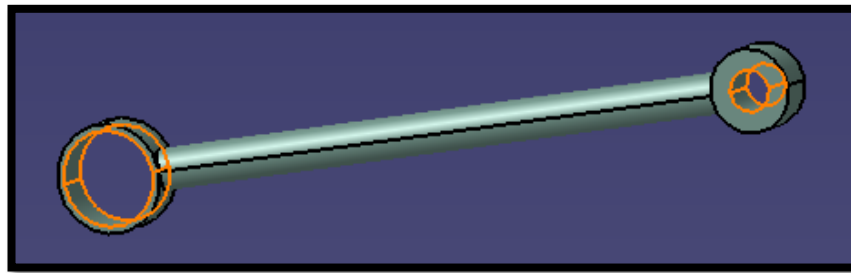
4. *Pocket:*

Figura 5-69. Seat mounting frame 11: Pocket brazo oscilante superior; Izq D 21 mm/Der D 9.24 mm

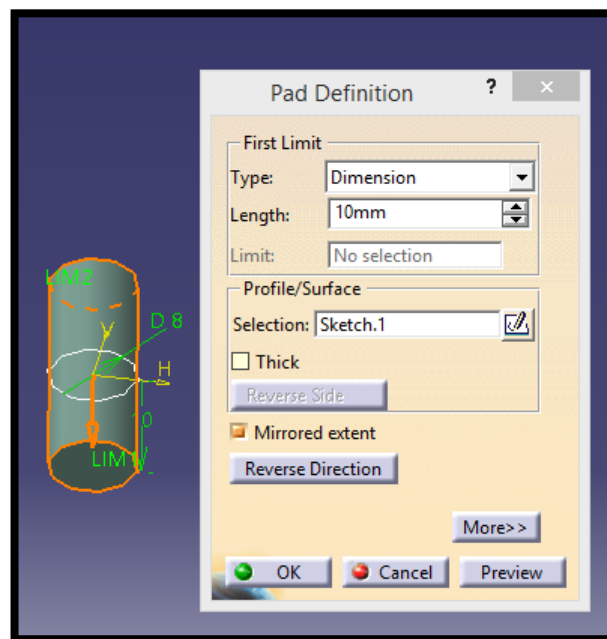
1. *Pad:*

Figura 5-70. Seat mounting frame 11: Pad sujeción brazo oscilante superior

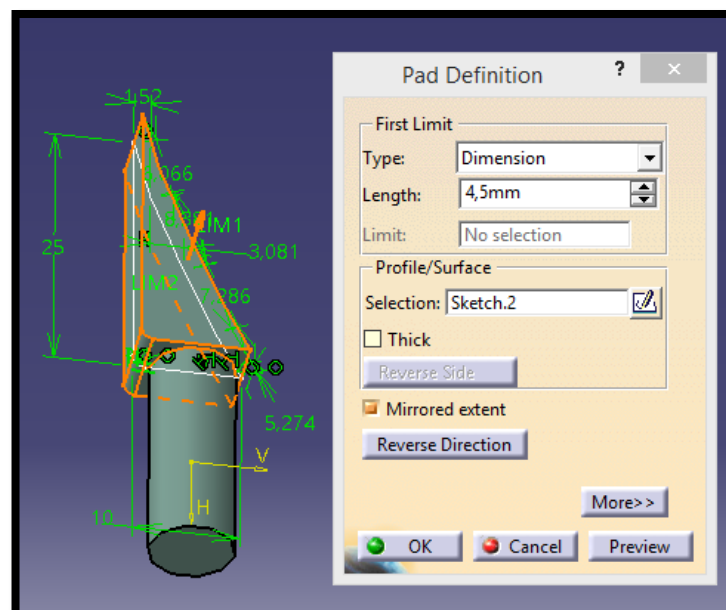
2. *Pad:*

Figura 5-71. Seat mounting frame 11: Pad.2 sujeción brazo oscilante superior

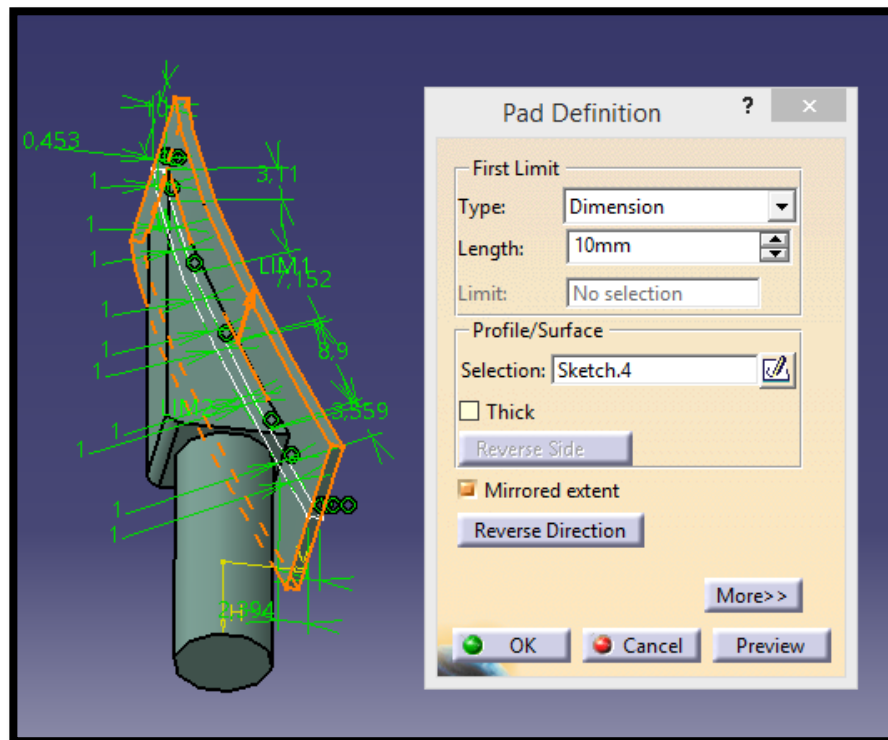
3. *Pad*:

Figura 5-72. Seat mounting frame 11: Pad.3 sujeción brazo oscilante superior

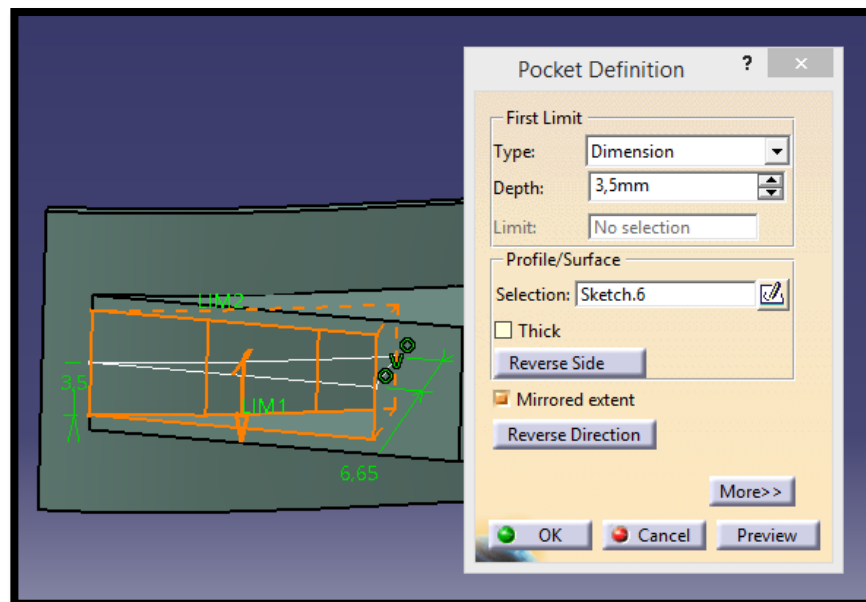
4. *Pocket*:

Figura 5-73. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción brazo oscilante superior

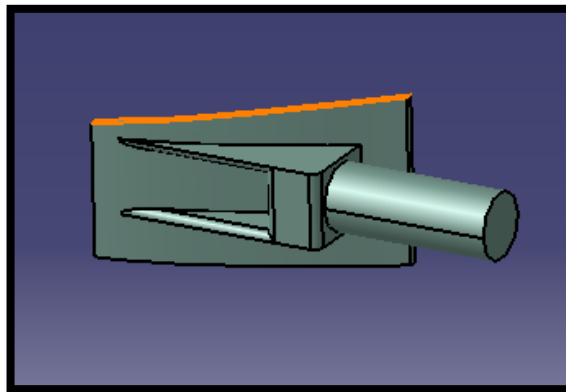
5. *Split:*

Figura 5-74. Seat mounting frame 11: Split sujeción brazo oscilante superior

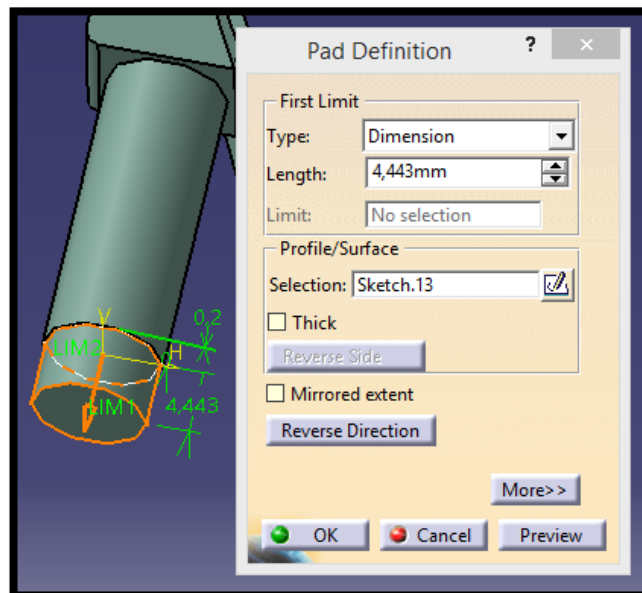
6. *Pad:*

Figura 5-75. Seat mounting frame 11: Pad.4 sujeción brazo oscilante superior

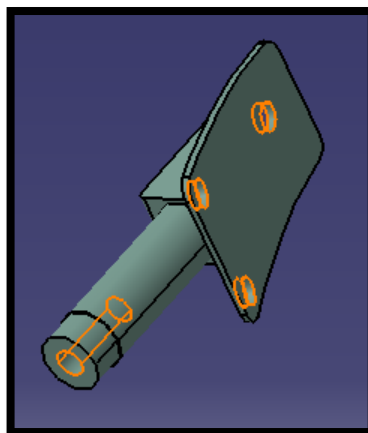
7. *Holes:*

Figura 5-76. Seat mounting frame 11: Holes (D 3.5 mm) sujeción brazo oscilante

5.1.2.9.14 Brazo oscilante inferior y su sujeción

Secuencia de operaciones:

1. *Pad*:

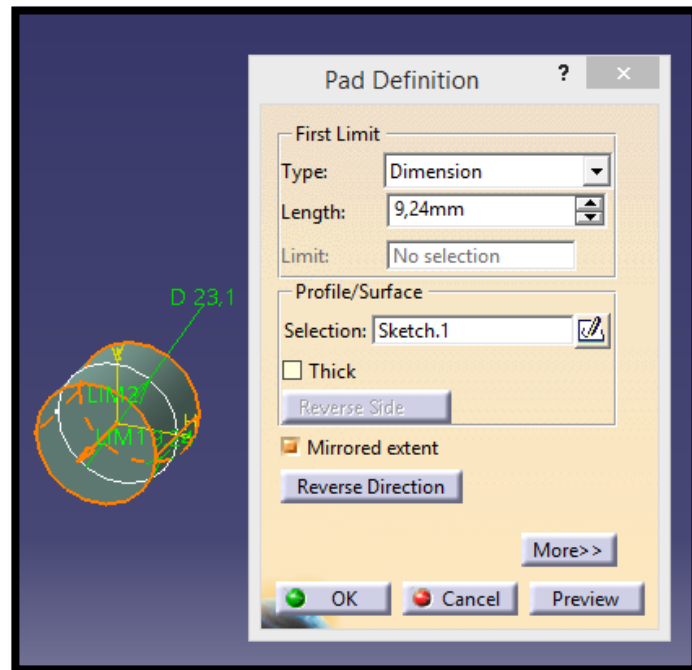


Figura 5-77. Seat mounting frame 11: Pad brazo oscilante inferior

2. *Trim*:

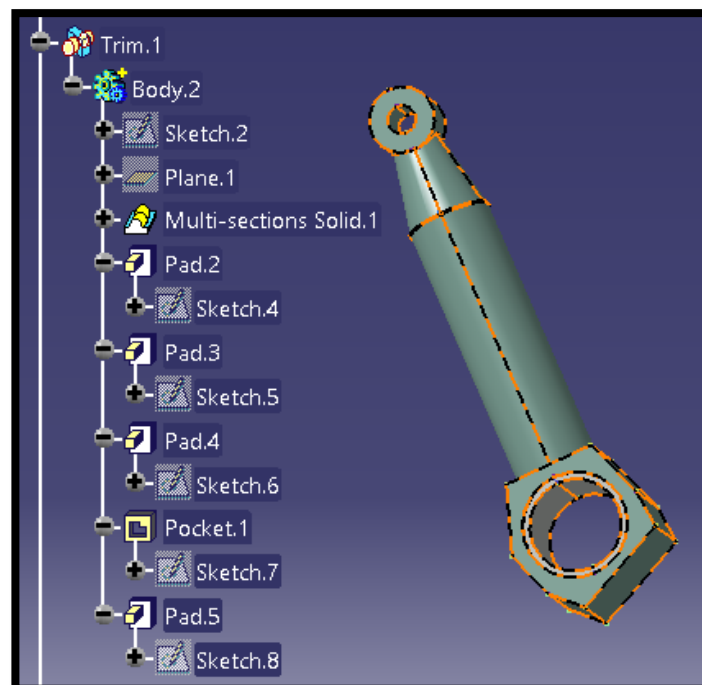


Figura 5-78. Seat mounting frame 11: Union trim brazo oscilante inferior

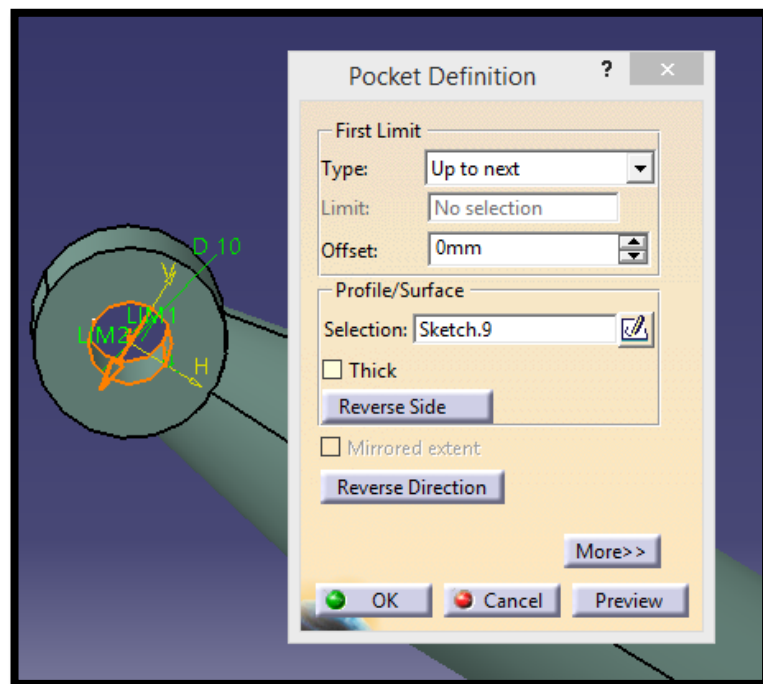
3. *Pocket:*

Figura 5-79. Seat mounting frame 11: Pocket brazo oscilante inferior

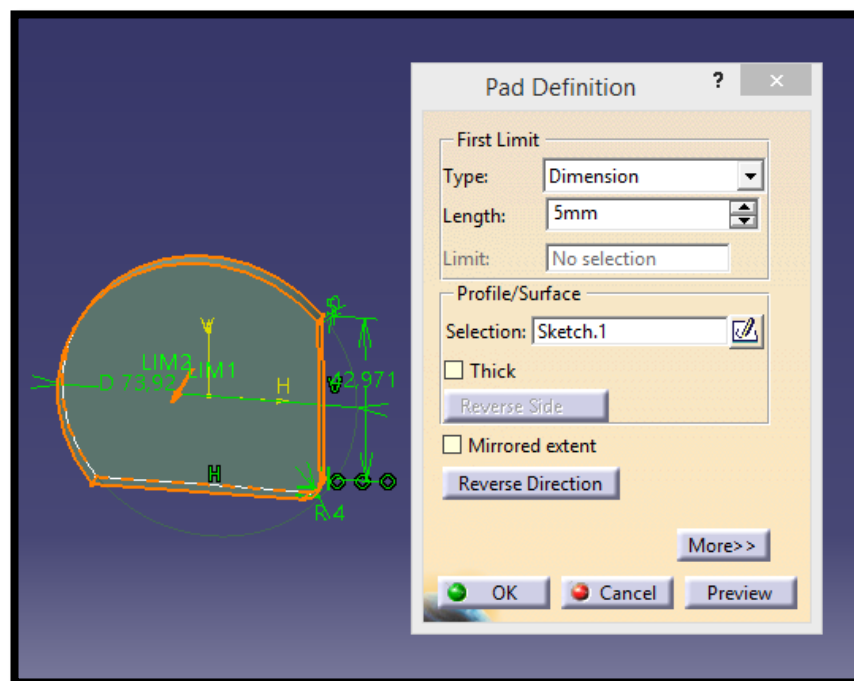
1. *Pad:*

Figura 5-80. Seat mounting frame 11: Pad sujeción brazo oscilante inferior

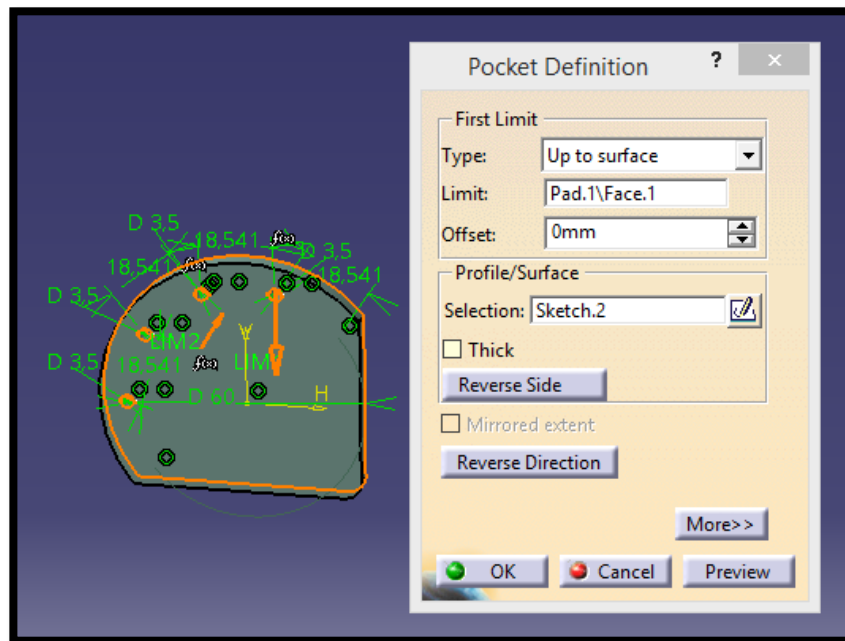
2. *Pocket*:

Figura 5-81. Seat mounting frame 11: Pocket sujeción brazo oscilante inferior

5.1.2.9.15 Mecanismo de ajuste de altura del asiento

Secuencia de operaciones:

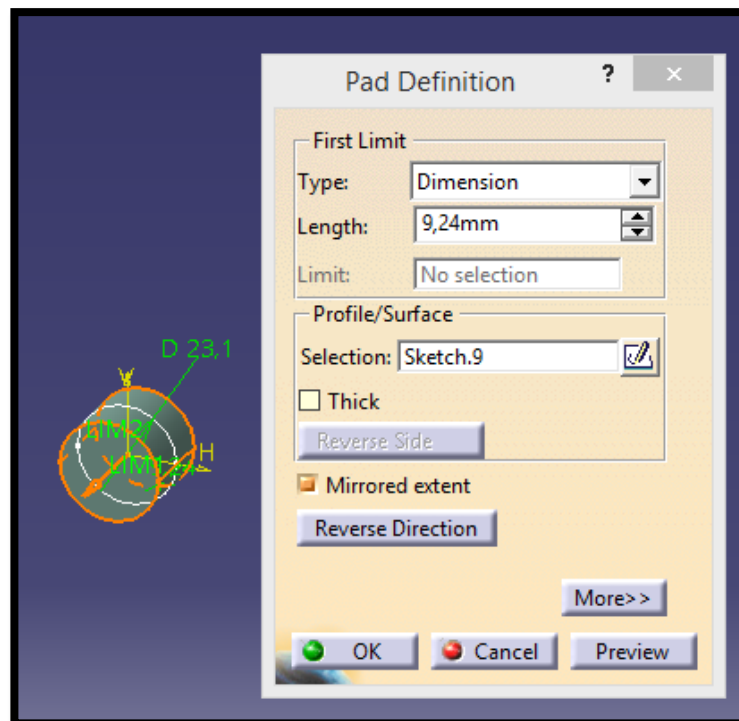
1. *Pad*:

Figura 5-82. Seat mounting frame 11: Pad mecanismo altura 1

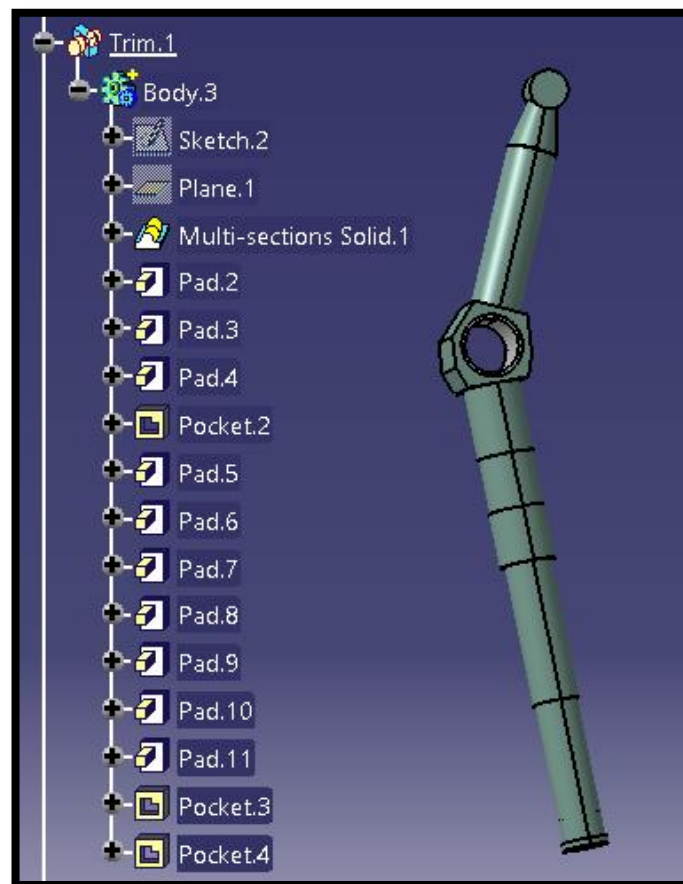
2. *Trim:*

Figura 5-83. Seat mounting frame 11: Union trim mecanismo altura 1

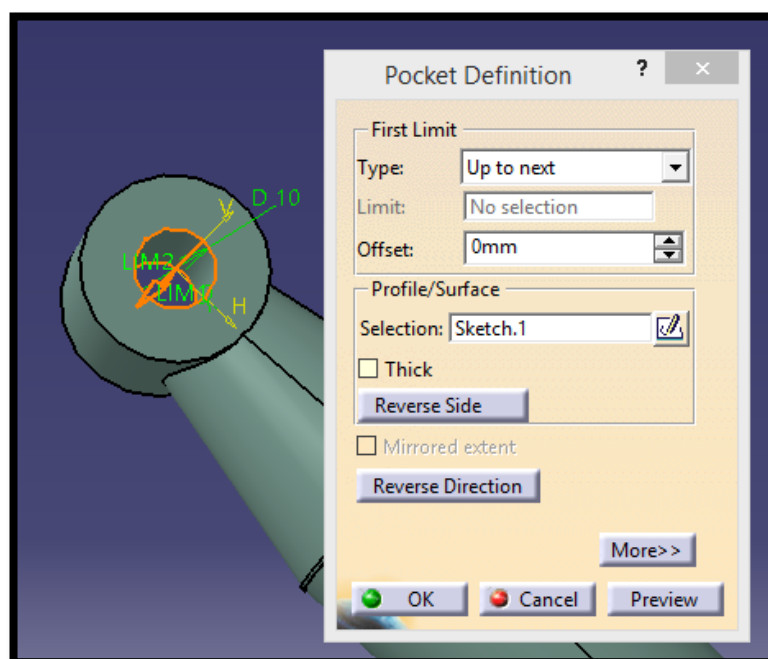
3. *Pocket:*

Figura 5-84. Seat mounting frame 11: Pocket mecanismo altura 1

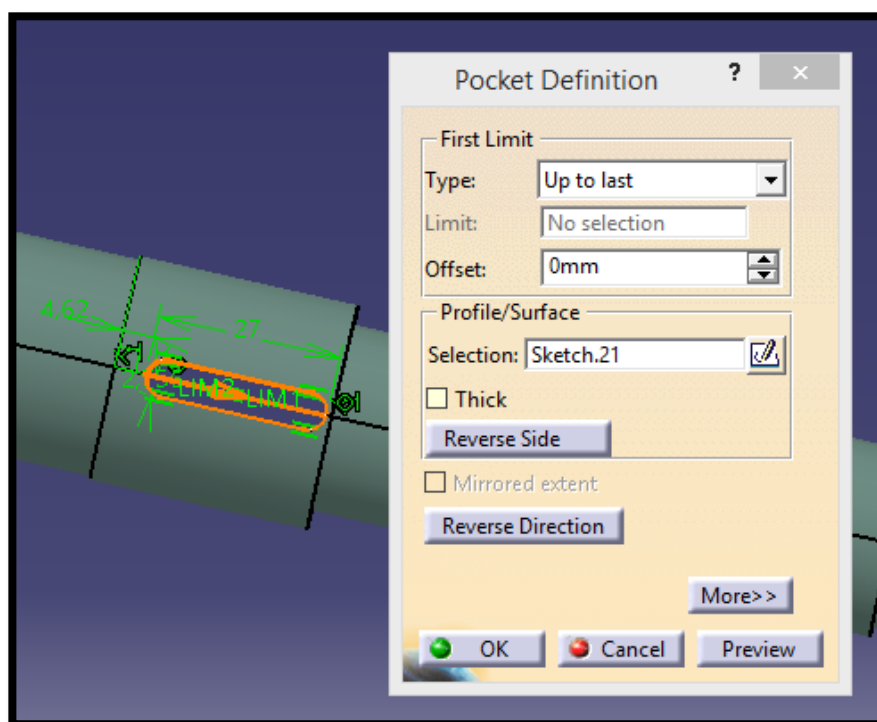
4. *Pocket:*

Figura 5-85. Seat mounting frame 11: Pocket.2 mecanismo altura 1

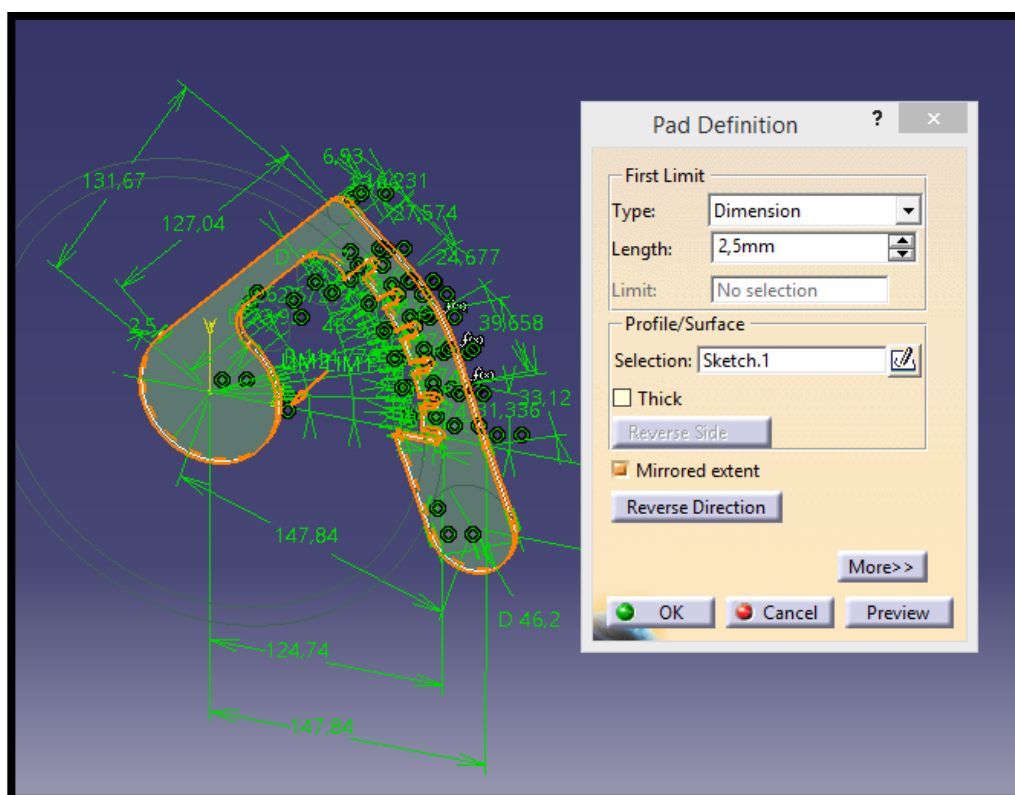
1. *Pad:*

Figura 5-86. Seat mounting frame 11: Pad mecanismo altura 2

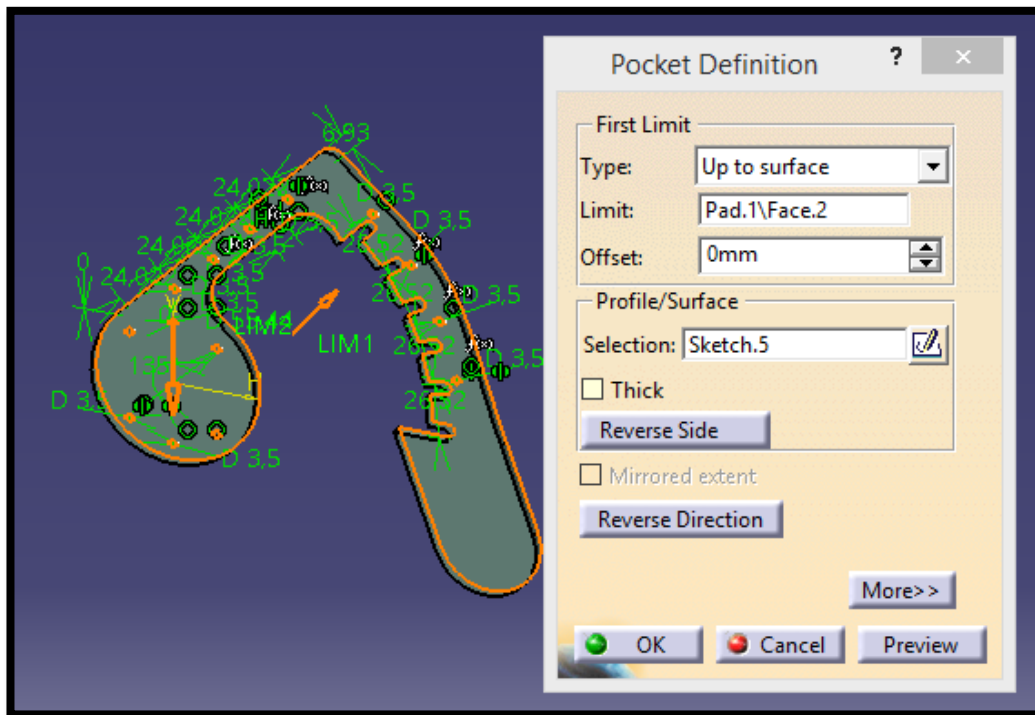
2. *Pocket:*

Figura 5-87. Seat mounting frame 11: Pocket mecanismo altura 2

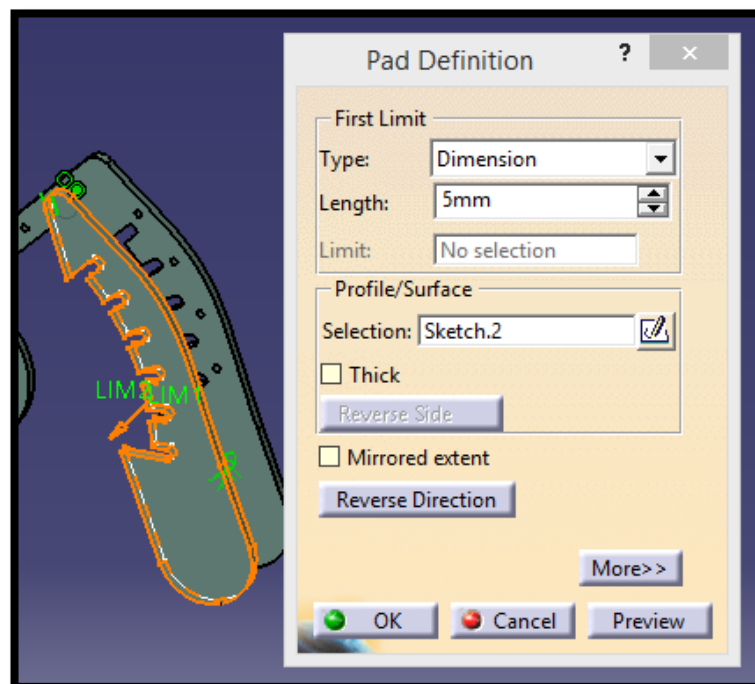
3. *Pad:*

Figura 5-88. Seat mounting frame 11: Pad.2 mecanismo altura 2

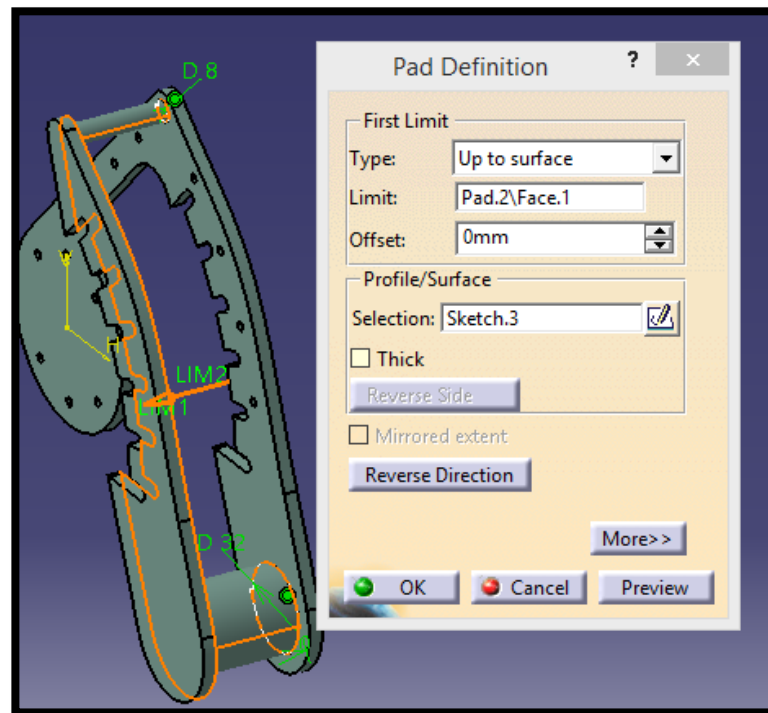
4. *Pad:*

Figura 5-89. Seat mounting frame 11: Pad.3 mecanismo altura 2

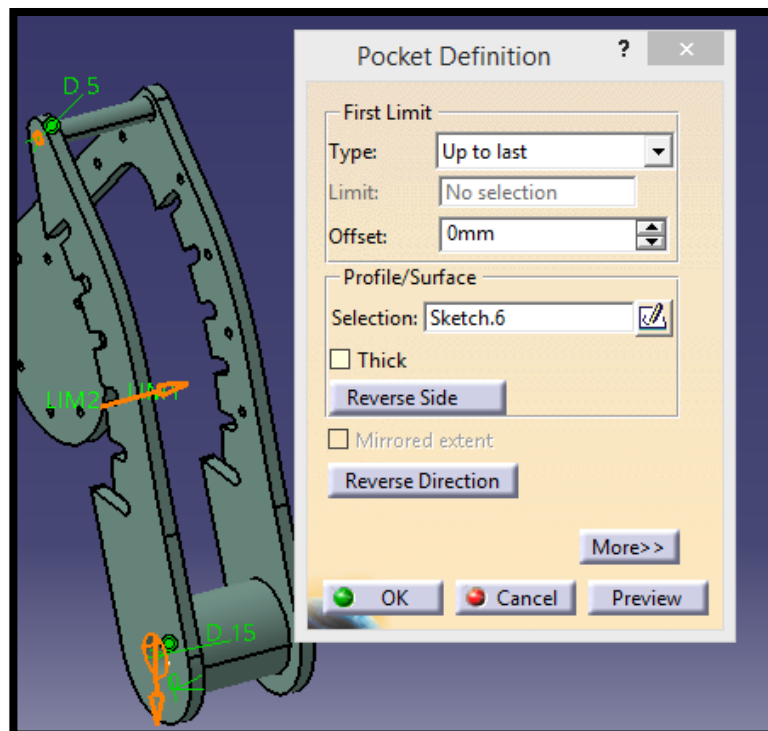
5. *Pocket:*

Figura 5-90. Seat mounting frame 11: Pocket.2 mecanismo altura 2

5.1.2.9.16 Barra inferior 2 y su sujeción

Secuencia de operaciones:

1. *Pad:*

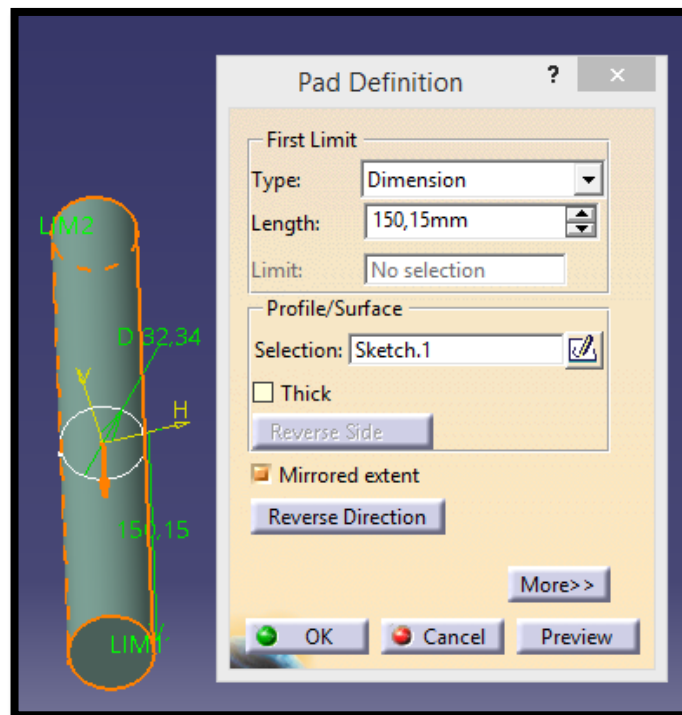


Figura 5-91. Seat mounting frame 11: Pad barra inferior 2

2. *Pad:*

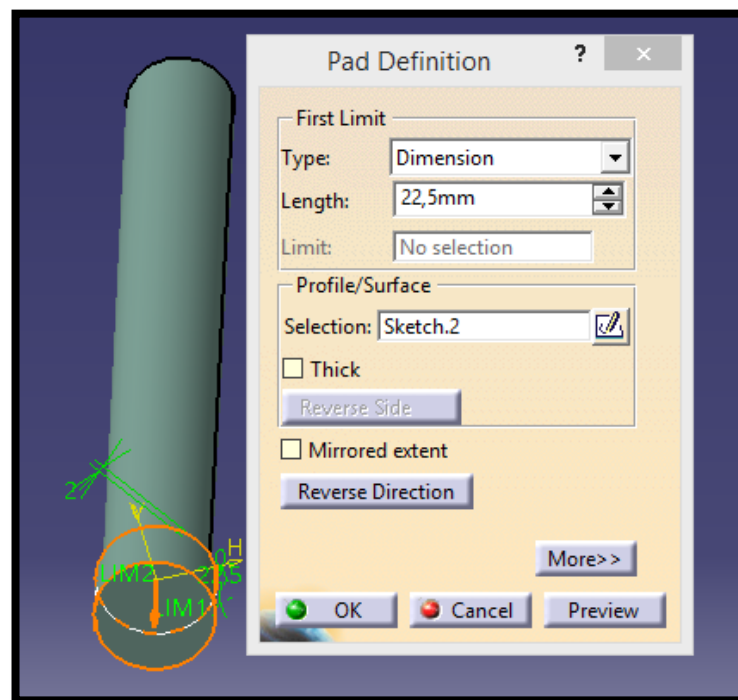


Figura 5-92. Seat mounting frame 11: Pad.2 barra inferior 2

3. Pad:

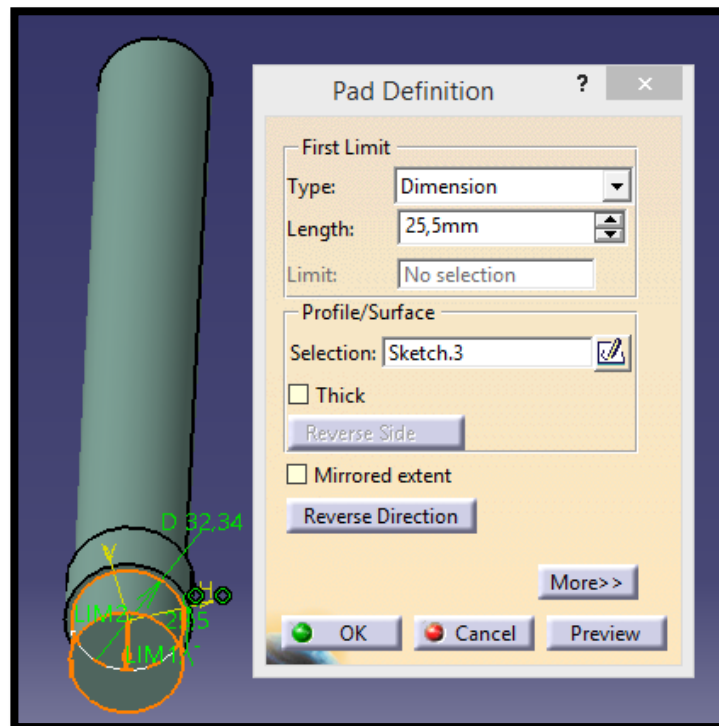


Figura 5-93. Seat mounting frame 11: Pad.3 barra inferior 2

4. Pad:

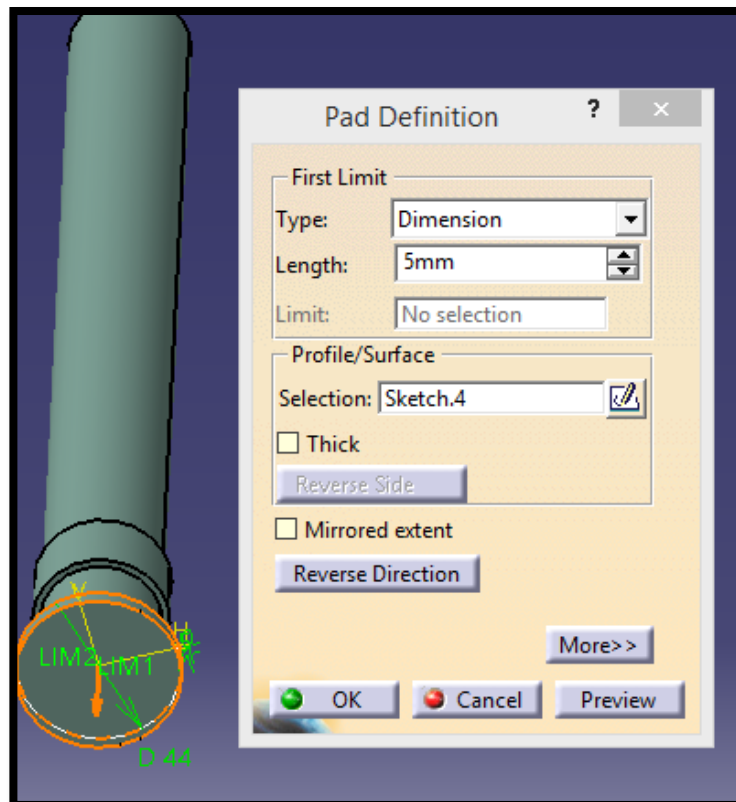


Figura 5-94. Seat mounting frame 11: Pad.4 barra inferior 2

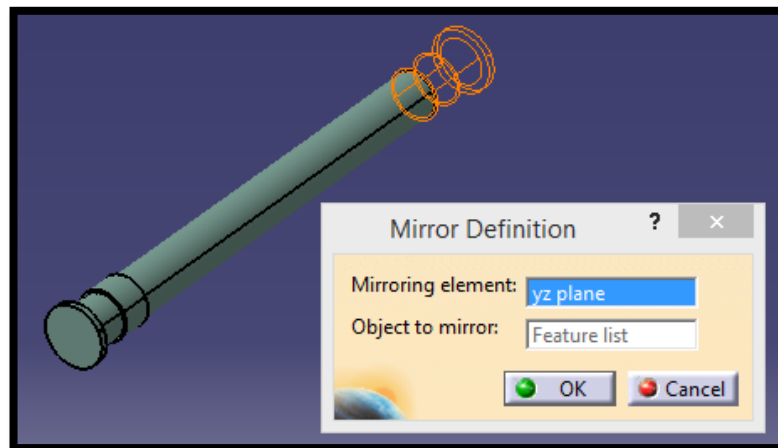
5. *Mirror:*

Figura 5-95. Seat mounting frame 11: Mirror barra inferior 2

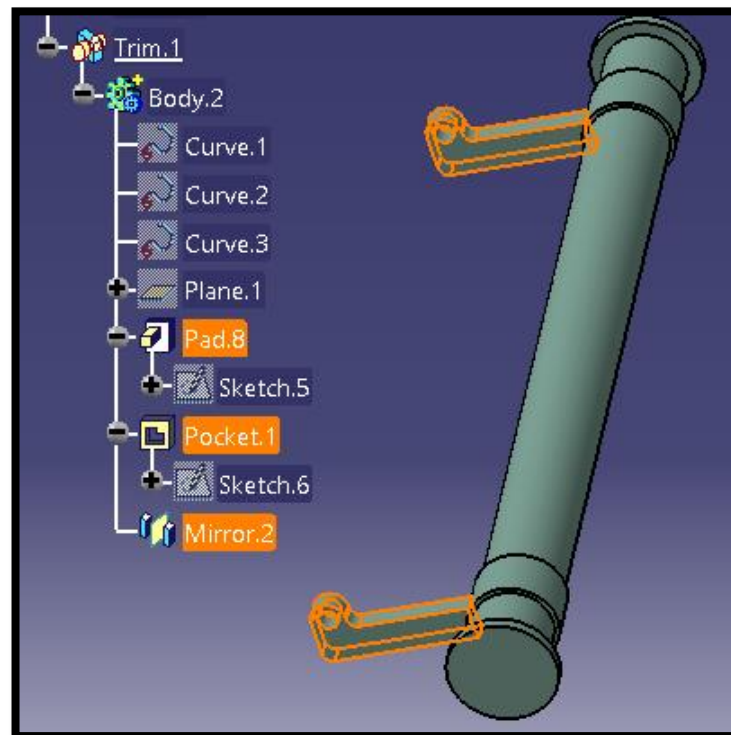
6. *Trim:*

Figura 5-96. Seat mounting frame 11: Union trim barra inferior 2

5.1.2.10 Asiento

En el caso del asiento contamos con planos no acotados y multitud de imágenes desde diferentes perspectivas que nos han ayudado a recrearlo. Buscamos ante todo la compatibilidad con piezas diseñadas anteriormente, no siendo tan exhaustivos en su modelado con respecto a los planos con los que contamos. Seguimos la misma mecánica seguida en la estructura de sujeción del asiento, basada en imágenes.

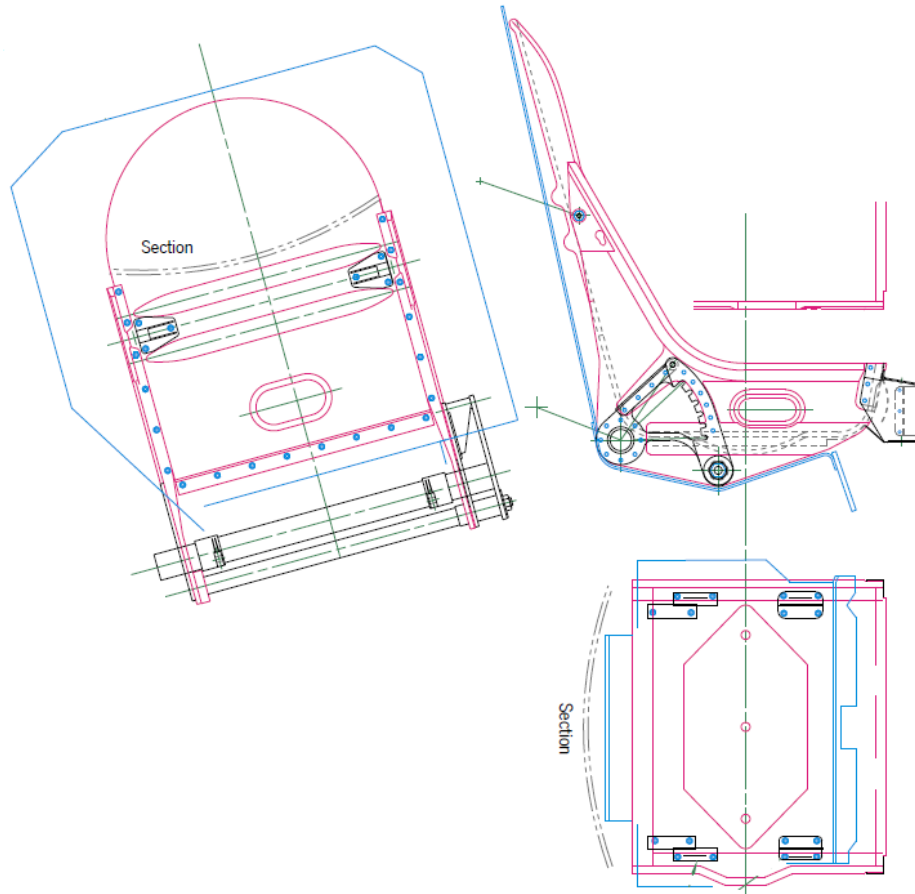


Figura 5-97. Asiento en los planos del libro

5.1.2.10.1 Panel lateral

Operaciones usadas:

1. *Pad*:

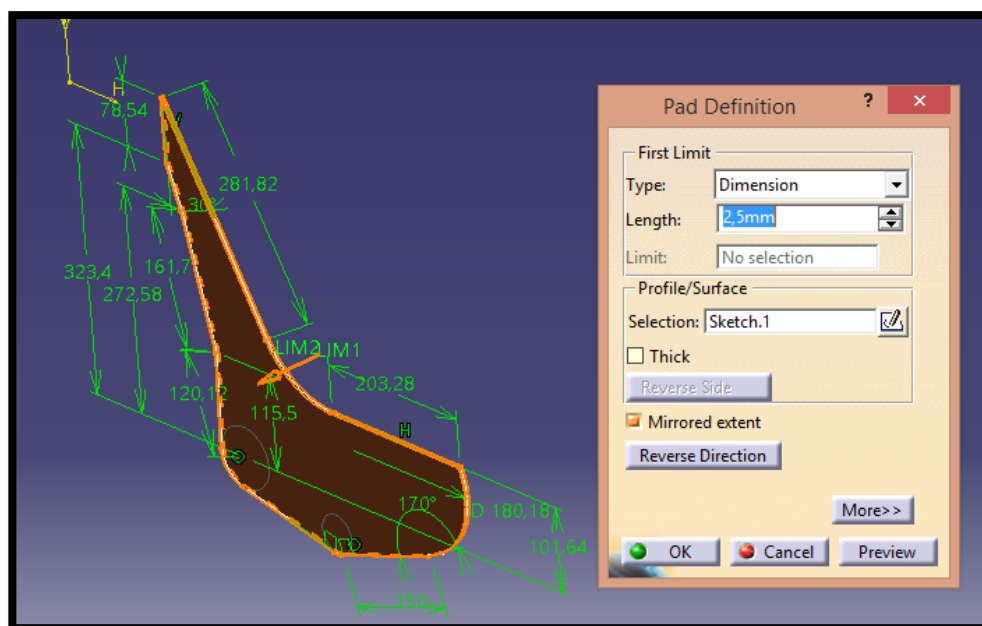


Figura 5-98. Asiento: Pad panel lateral

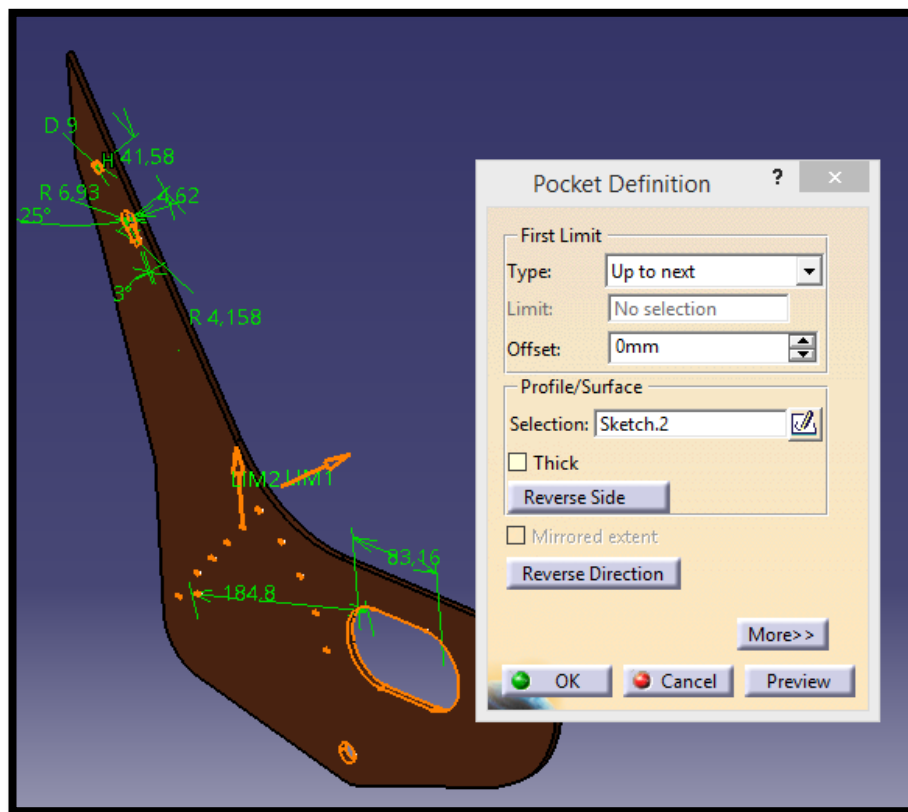
2. *Pocket:*

Figura 5-99. Asiento: Pocket panel lateral

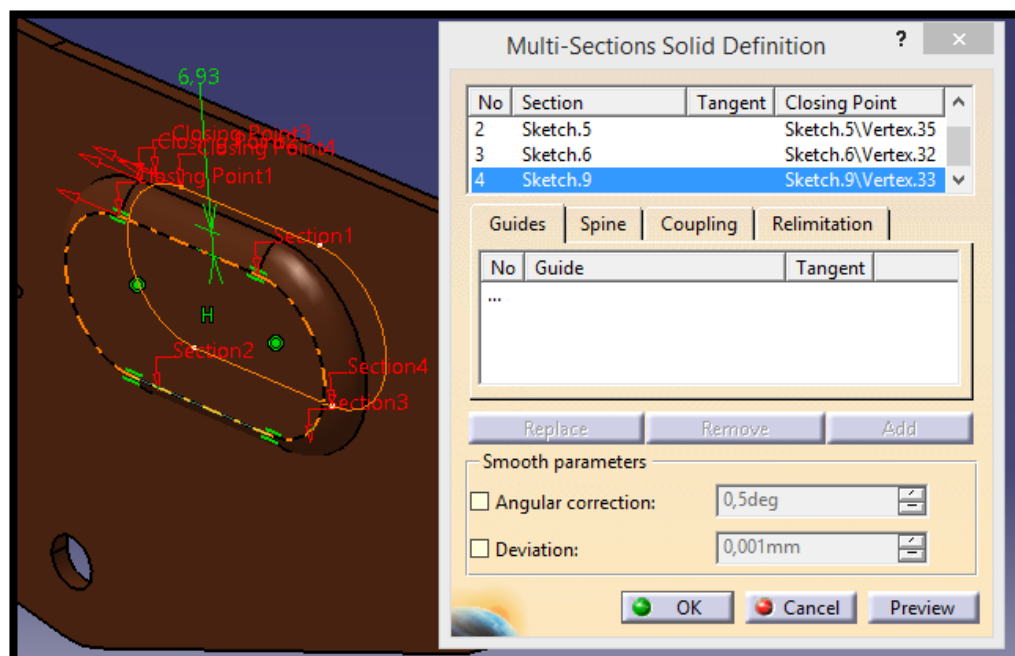
3. *Multi-sections Solid:*

Figura 5-100. Asiento: Multi-sections Solid panel lateral

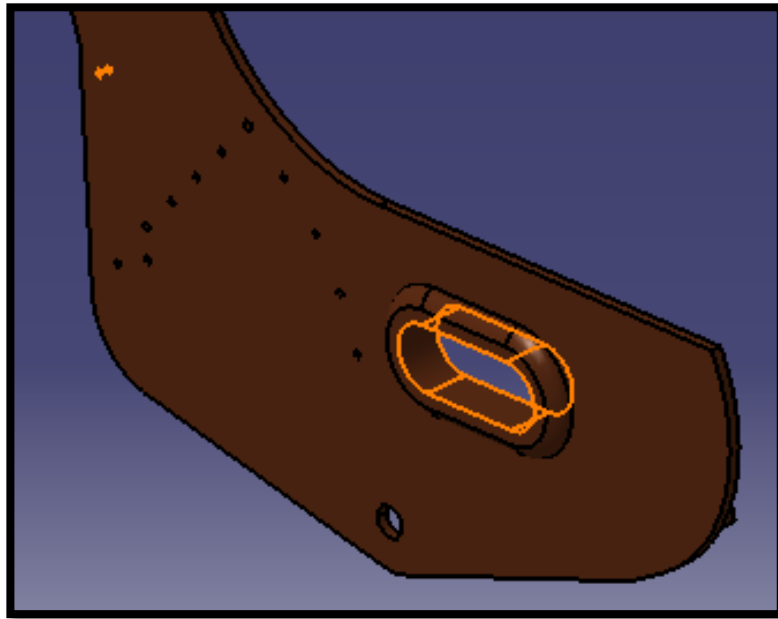
4. *Pocket:*

Figura 5-101. Asiento: Pocket.2 panel lateral

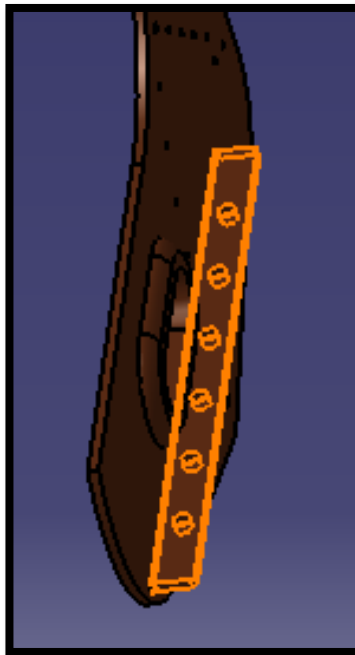
5. *Pad + Pocket:*

Figura 5-102. Asiento: Pad.2 + Pocket.3 panel lateral

5.1.2.10.2 Parte baja

Operaciones usadas:

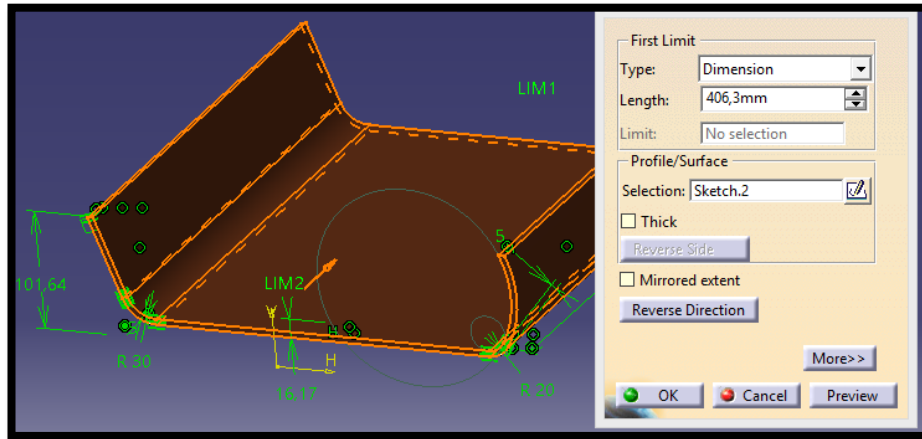
1. *Pad*:

Figura 5-103. Asiento: Pad parte baja

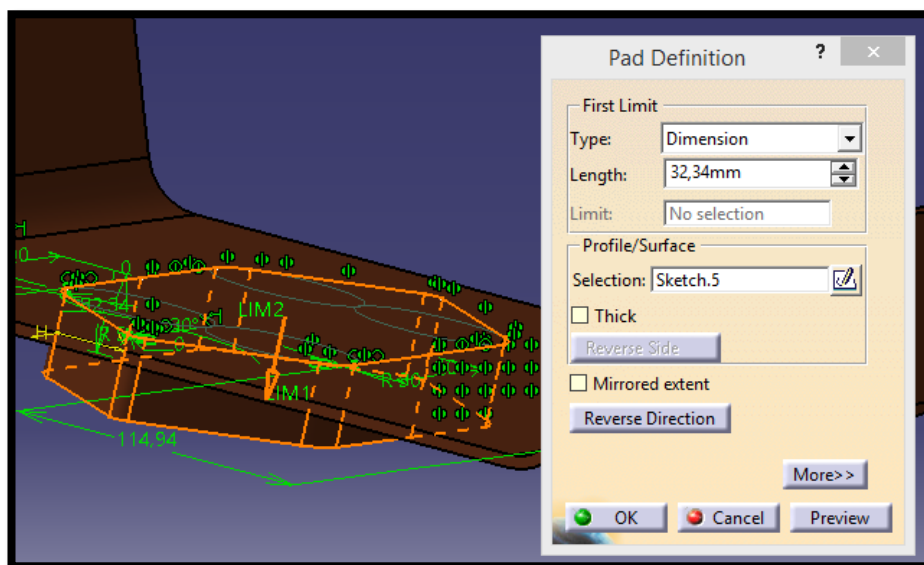
2. *Pad*:

Figura 5-104. Asiento: Pad.2 parte baja

3. *Pocket + Mirror*:

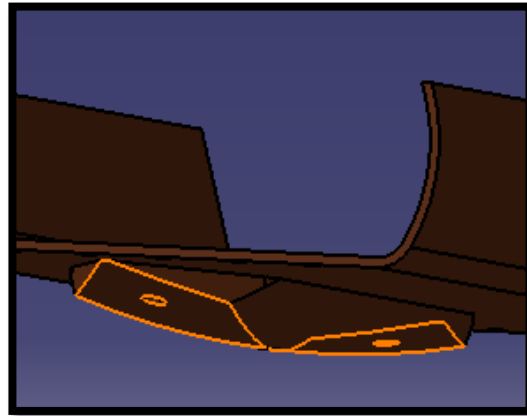


Figura 5-105. Asiento: Pocket.1 + Mirror.1 parte baja

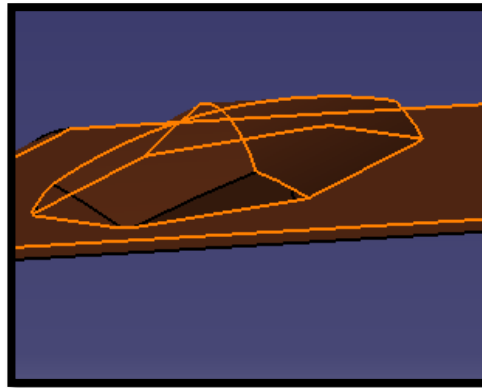
4. *Pocket + Mirror:*

Figura 5-106. Asiento: Pocket.2 + Mirror.2 parte baja

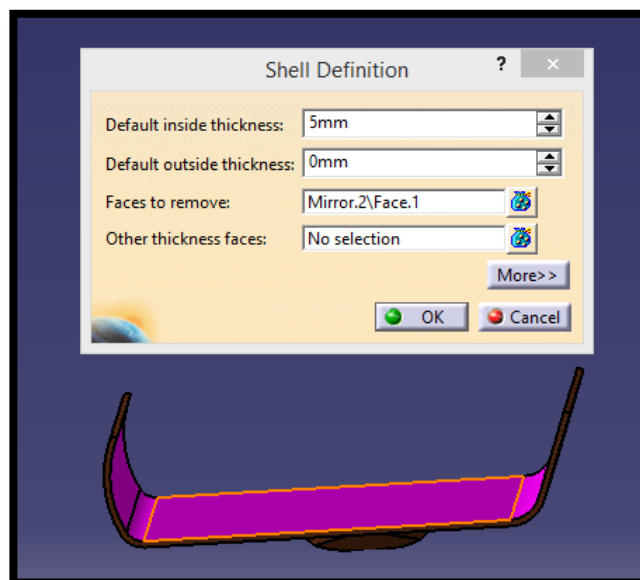
5. *Shell:*

Figura 5-107. Asiento: Shell parte baja

6. *Pocket*



Figura 5-108. Asiento: Pocket.3 parte baja

5.1.2.10.3 Respaldo

Operaciones usadas:

1. *Pad*:

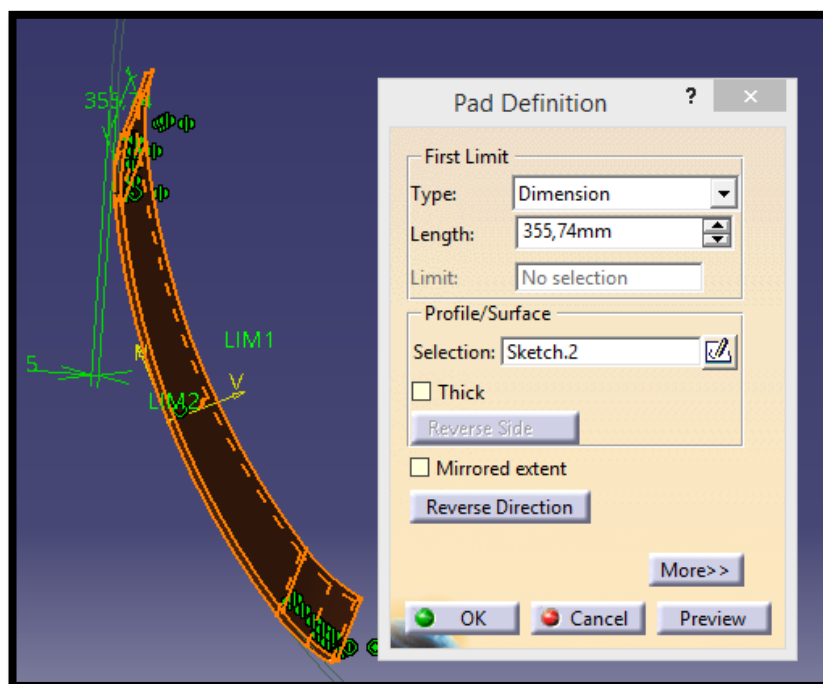


Figura 5-109. Asiento: Pad respaldo

2. *Multi-sections Solid*:

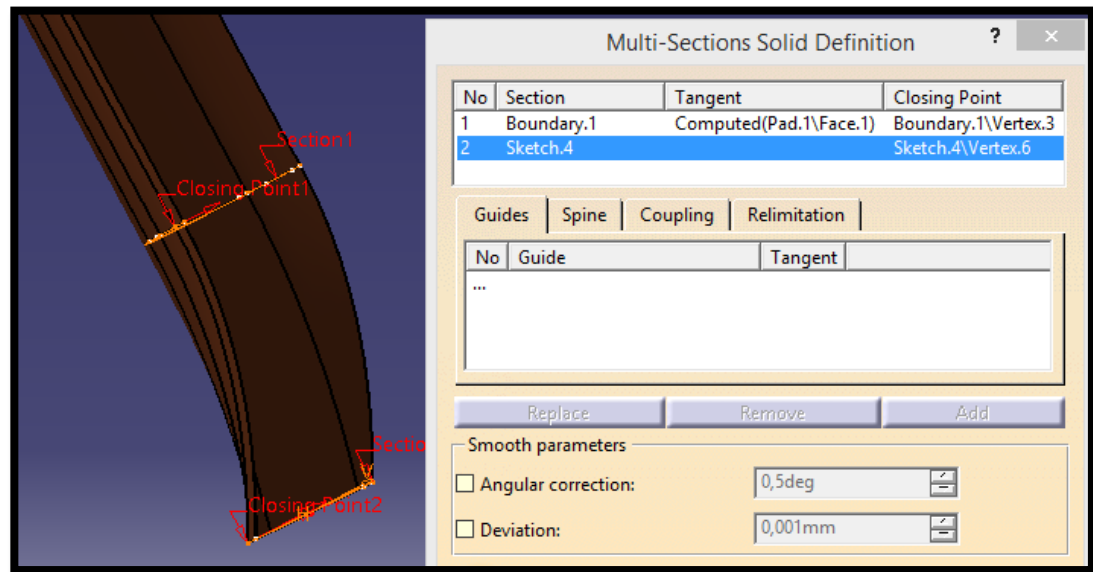


Figura 5-110. Asiento: Multi-sections Solid respaldo

3. *Pocket + Mirror:*

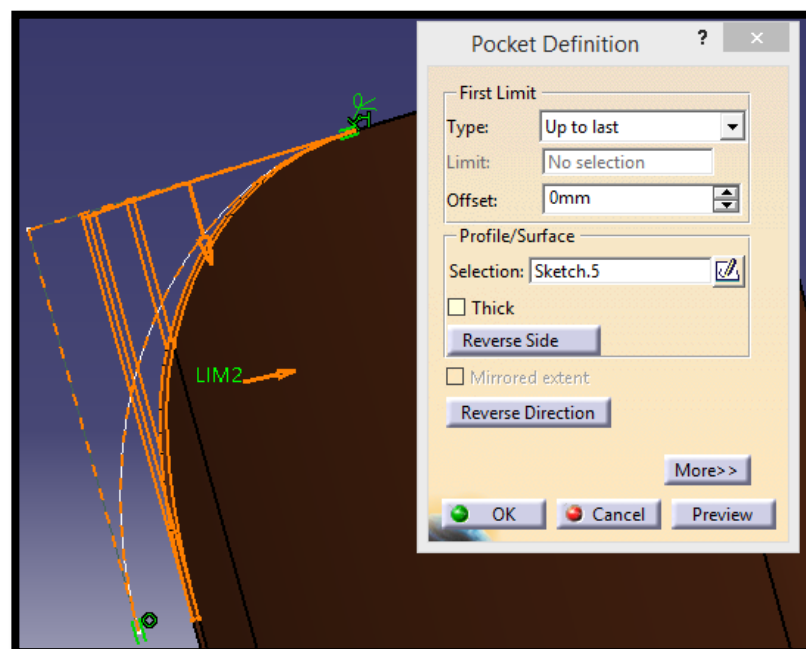


Figura 5-111. Asiento: Pocket + Mirror respaldo

4. *Pocket:*

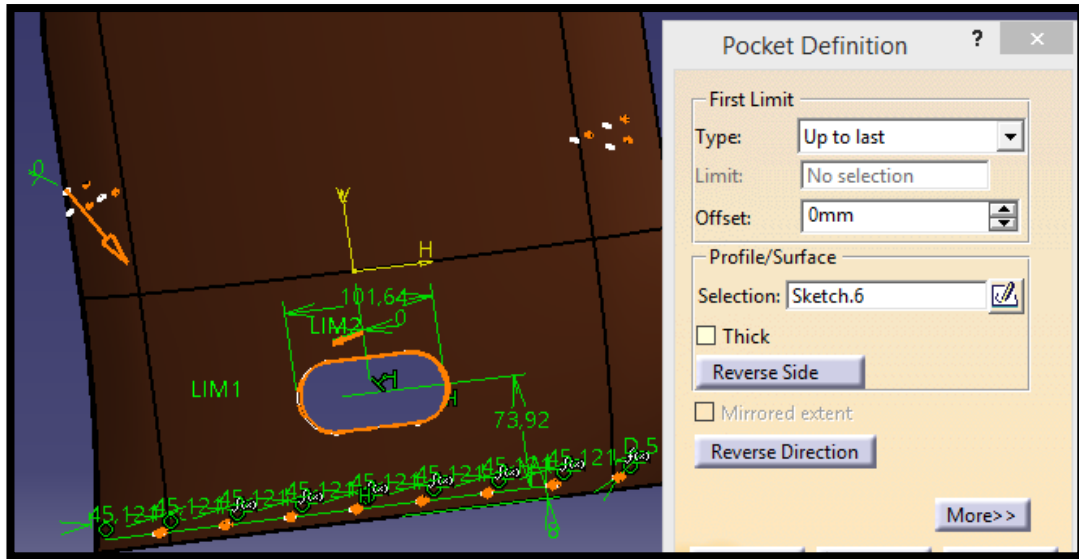


Figura 5-112. Asiento: Pocket.2 respaldo

5.1.2.10.4 Barra rectangular trasera

Operaciones usadas:

1. *Pad*:

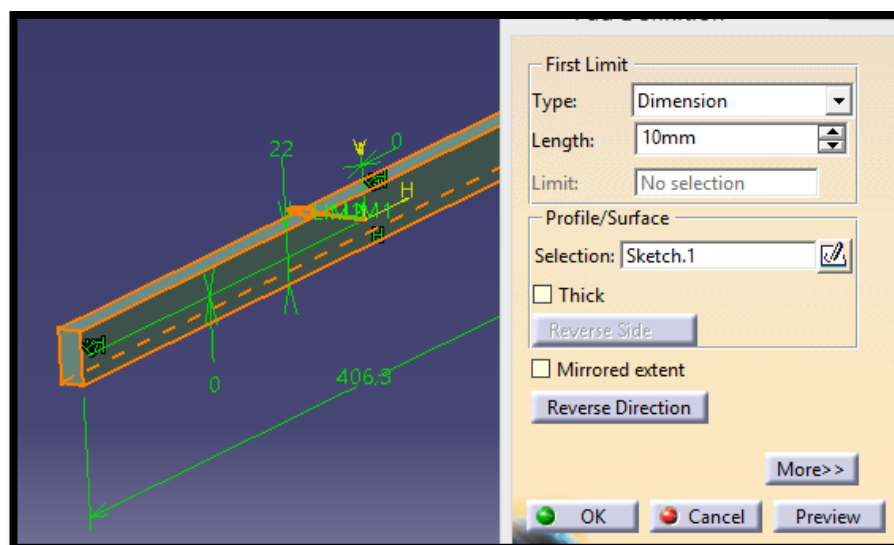


Figura 5-113. Asiento: Pad barra rectangular trasera

2. *Pocket*:

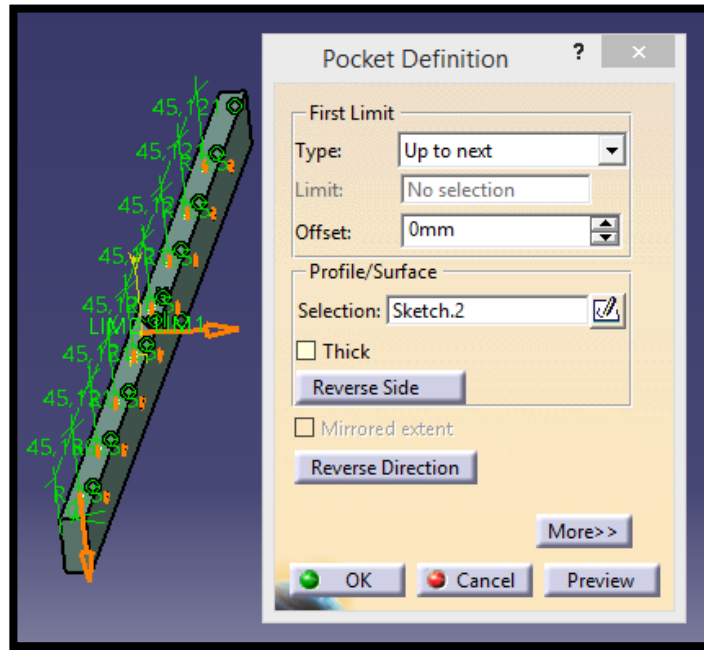


Figura 5-114. Asiento: Pocket barra rectangular trasera

3. *Pocket + Mirror:*

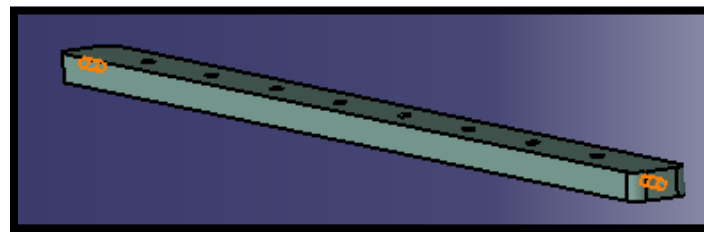


Figura 5-115. Asiento: Pocket.2 + Mirror barra rectangular trasera

A continuación podemos ver una comparación entre imágenes reales de la estructura de sujeción junto al asiento y nuestro modelo 3D. Podemos apreciar que la diferencia es mínima, de manera que se ha aplicado correctamente la información disponible.



Figura 5-116. Asiento + Estructura de sujeción del asiento reales

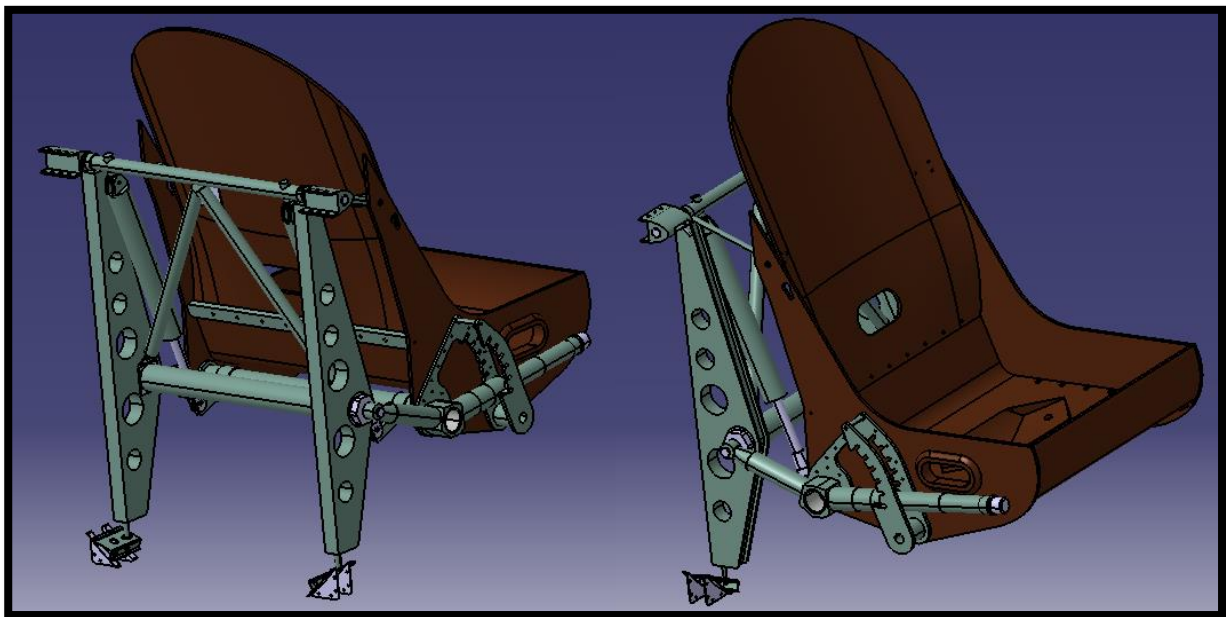


Figura 5-117. Asiento + Estructura de sujeción del asiento en el modelado con CATIA

5.1.3 Costilla 5

La Costilla 5 es una de las piedras angulares del fuselaje, sirve de cortafuegos entre el compartimento del motor y la sección delantera del fuselaje, donde encontramos la cabina del piloto, y además, sirve de unión entre fuselaje y alas.

Se trata de una construcción de sándwich reforzado que consta de 2 láminas de metal con amianto en el medio y, en la parte superior, de una hoja de metal a prueba de balas. Esto junto con la protección del motor asegura el tanque de combustible y al piloto contra disparos.

Por su función se trata de una costilla bastante particular que se diferencia mucho del resto de costillas.

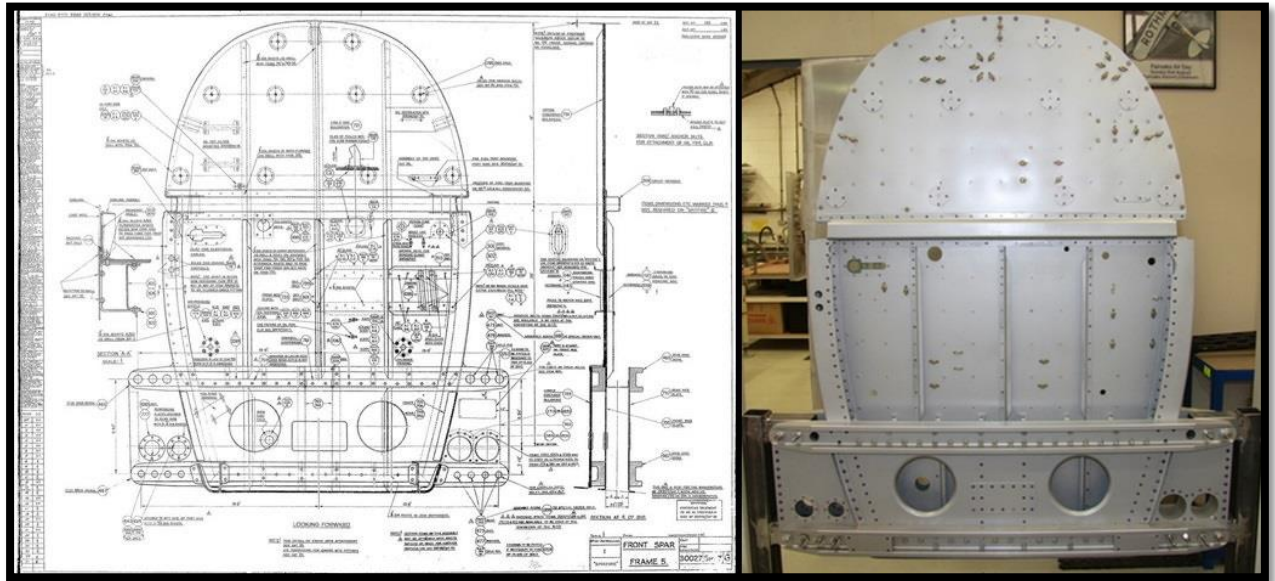


Figura 5-118. Costilla 5: Plano e imagen real

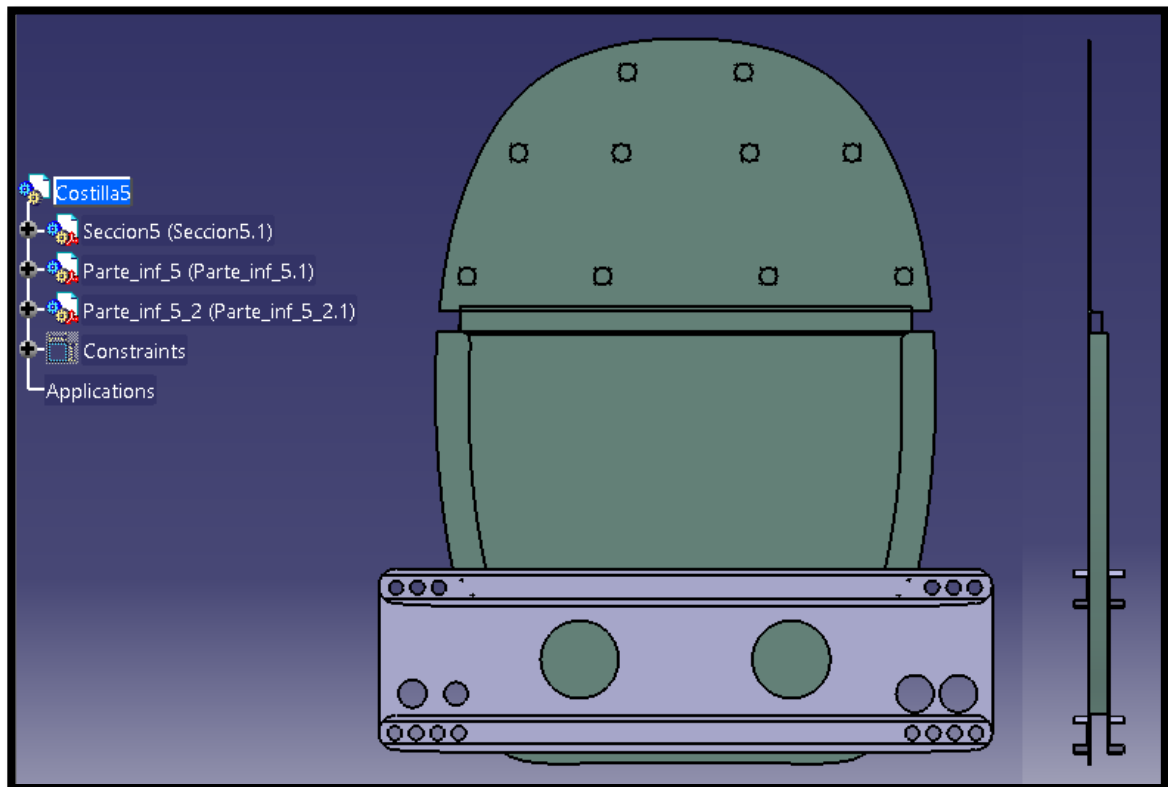


Figura 5-119. Costilla 5 en nuestro modelo

5.1.3.1 Sección 5

Como decíamos anteriormente se trata de una costilla muy diferente a todas las que componen el fuselaje. Para modelarla nos hemos basado en planos que hemos obtenido por internet, puesto que el libro dispone de planos de apenas cinco costillas.

El proceso seguido es similar al seguido para la costilla 11, aunque en este caso es más simple, puesto que como hemos podido ver no tenemos contorno interior y sólo tenemos que atender a la posición de los vaciados a realizar y algunos refuerzos.

El primer paso será proyectar los puntos del contorno exterior que obtenemos por la macro que incorpora el archivo Excel, unir estos puntos mediante la orden *Spline* y hacer simetría con respecto al eje vertical. Posteriormente le damos un espesor de 2 mm (*Pad*) y sobre esta superficie realizamos un nuevo *Sketch*, con el contorno de los refuerzos, cuyos puntos característicos también obtenemos de los planos. Estos refuerzos se obtienen con la orden *Pad* (extrusión de 30 mm de longitud) y son simétricos con respecto al eje vertical.

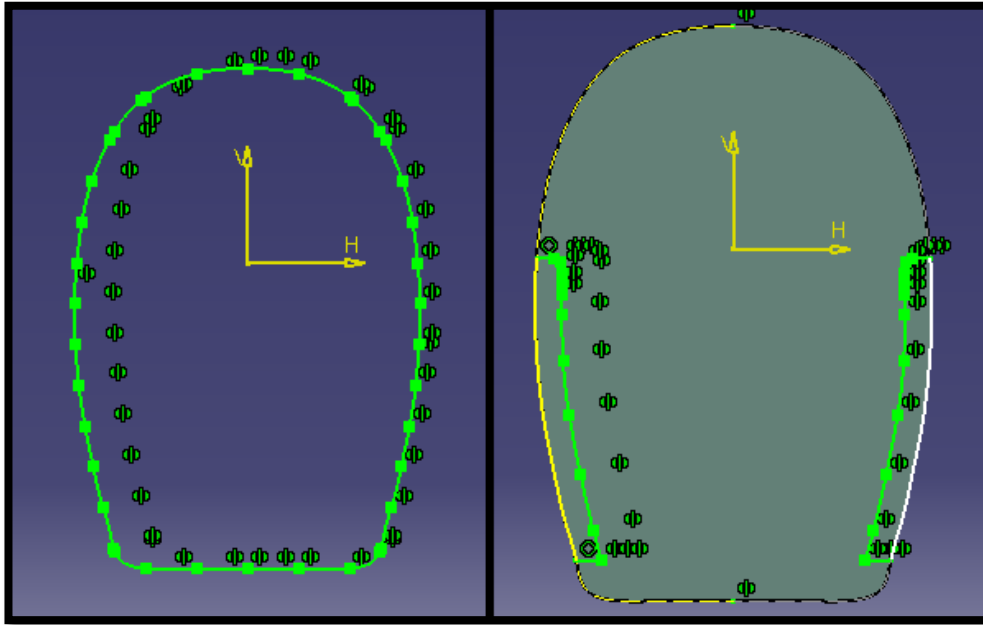


Figura 5-120. Sección 5: Sketch.1 y Sketch.2 correspondientes a las operaciones Pad

El siguiente paso es realizar el vaciado donde se alojarán los largueros laterales principales, para el que también contamos con los puntos que lo definen y que será simétrico con respecto al eje vertical. Alojado entre estos dos huecos contamos con un refuerzo más de espesor 1 mm que obtenemos de la operación *Rib*.

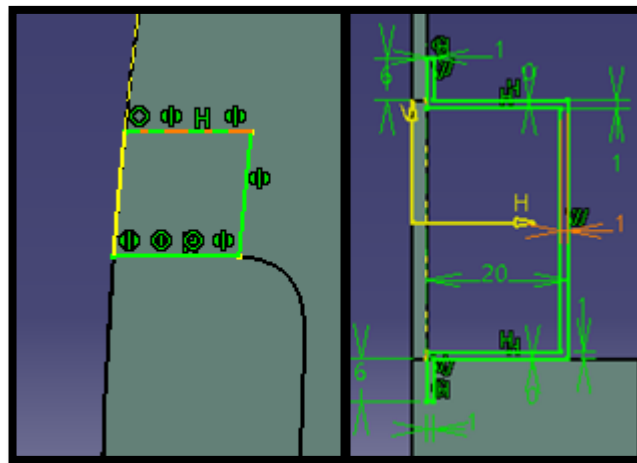


Figura 5-121. Sección 5: Sketch.3 y Sketch.4 correspondientes a Pocket y Rib

A continuación, procedemos a realizar el vaciado de la superficie para finalizar la pieza. Tenemos que diferenciar entre agujeros pasantes y otros que no lo son, que identificamos a partir de fotografías reales de la costilla 5. Los no pasantes tienen una profundidad de 1 mm (sobre la superficie de espesor 2 mm) y diámetro 29 mm, mientras que los pasantes son circunferencias de 3.5 mm de diámetro.

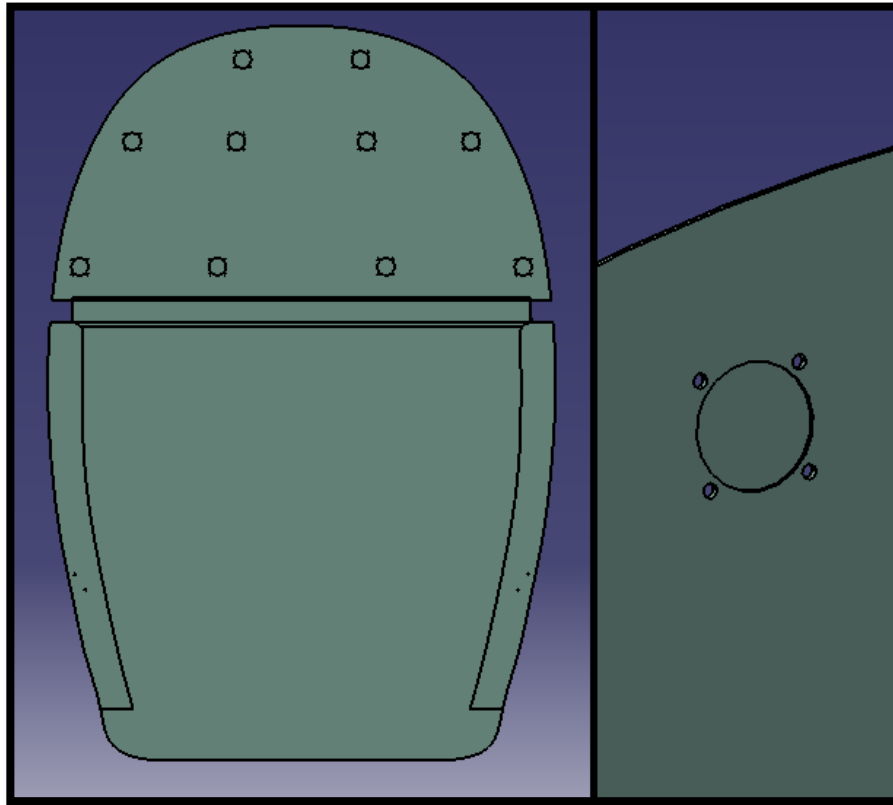


Figura 5-122. Sección 5 finalizada y detalle del vaciado

5.1.3.2 Parte inferior 5

Se trata de una pieza metálica que sirve como refuerzo estructural en una zona crítica, puesto que es donde se produce la unión con las alas. Para su recreación nos basamos en el plano encontrado obteniendo puntos que nos permiten definir las secciones a extrudir y los vaciados a realizar.

Primero realizamos una extrusión de longitud 2 mm del rectángulo de dimensiones 1054.67 x 315.37 mm, a la que sigue otra de longitud 25 mm y cuyos perfiles, prácticamente rectangulares, se muestran en la siguiente figura.

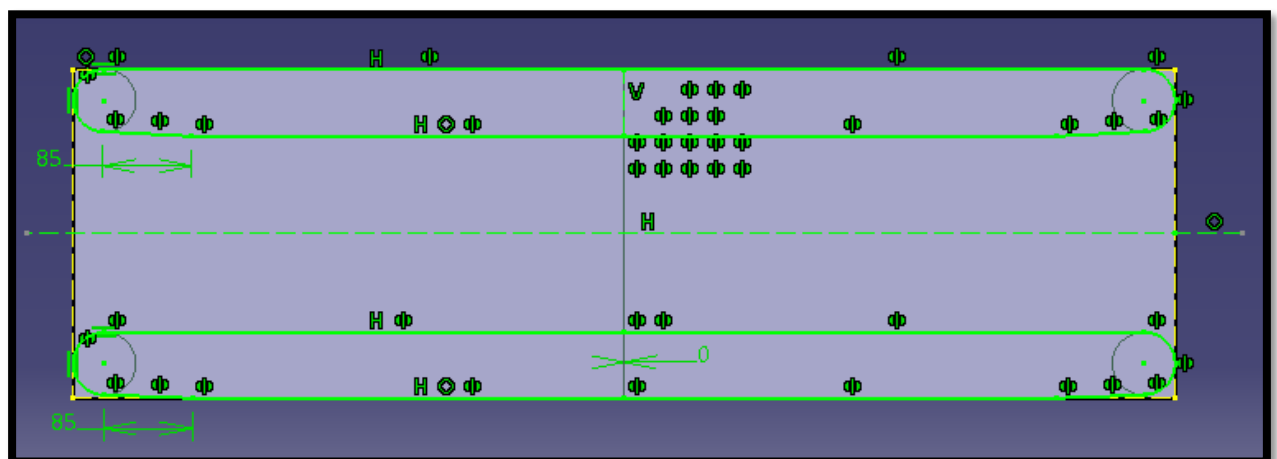


Figura 5-123. Parte inferior 5: Perfiles de la segunda operación *Pad*

Para finalizar el proceso debemos realizar el vaciado correcto de las superficies que componen la chapa, principalmente taladros de diámetros variados.

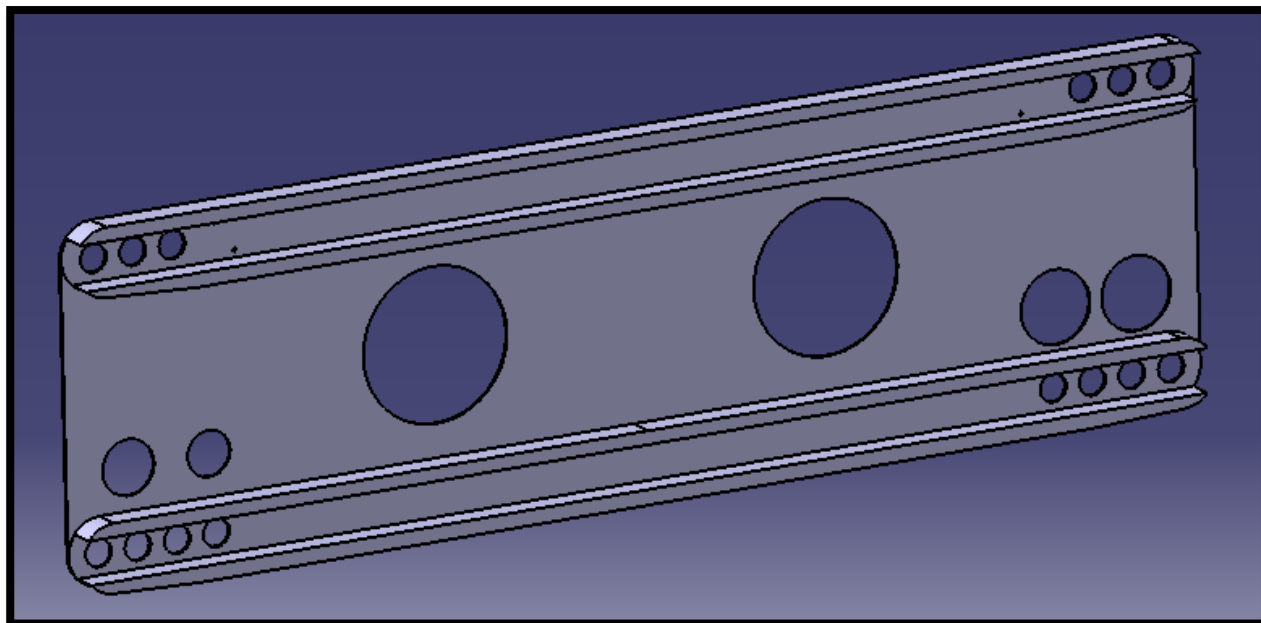


Figura 5-124. Parte inferior 5: Parte inferior 5 finalizada

Los agujeros centrales son de diámetro 134 mm, los situados a la izquierda de la chapa central de 48.3 y 40 mm, mientras que los de la derecha son ambos de 64.3 mm. Por último, los situados en la parte superior e inferior tienen diámetro 24.6 mm y los más pequeños 3.5 mm.

5.1.4 Costilla 6

En esta costilla tenemos el inconveniente de no tener planos ni imágenes, por tanto, la modelamos cumpliendo con una serie de requisitos operativos. Es decir, esta costilla ha estado sujeta a cambios para adecuarse, por ejemplo, a la posición de largueros.

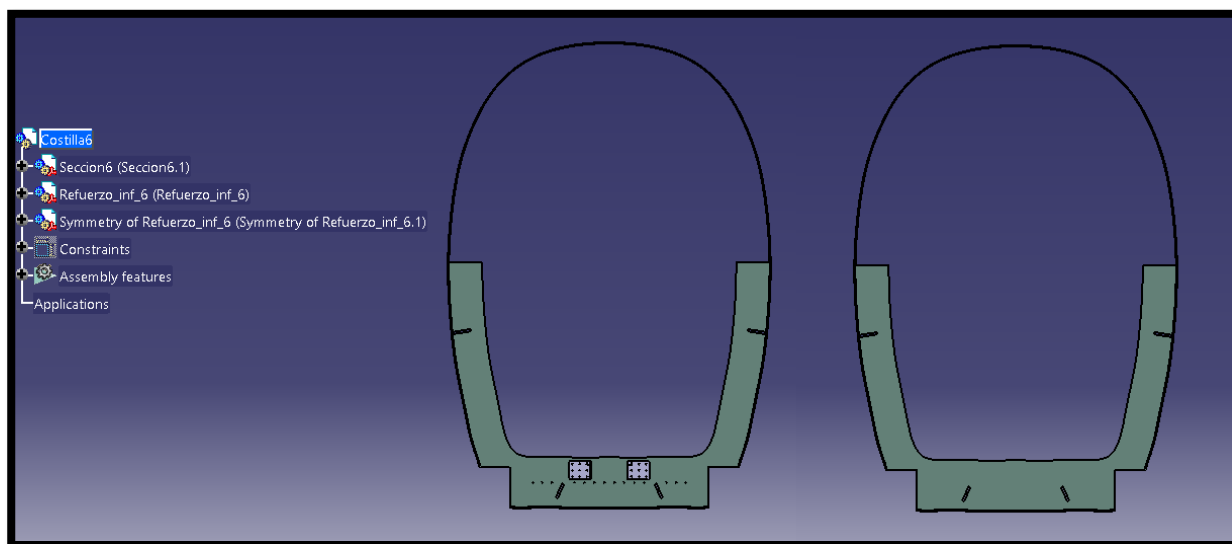


Figura 5-125. Costilla 6 en nuestro modelo

5.1.4.1 Sección 6

Como hemos dicho anteriormente, realizamos esta costilla de acuerdo a las características que creemos que será necesario que tenga, por lo que la recreación no es muy rigurosa.

En cualquier caso, al igual que en todas las costillas, hacemos una superficie exterior mediante la operación *Rib*, en la que un rectángulo de dimensiones 50 x 3 mm sigue el contorno exterior (el centro del lado inferior del rectángulo, de 50 mm, corta al contorno exterior).

Posteriormente realizamos la operación *Pad*, dando un espesor de 27 mm al perfil de la imagen.

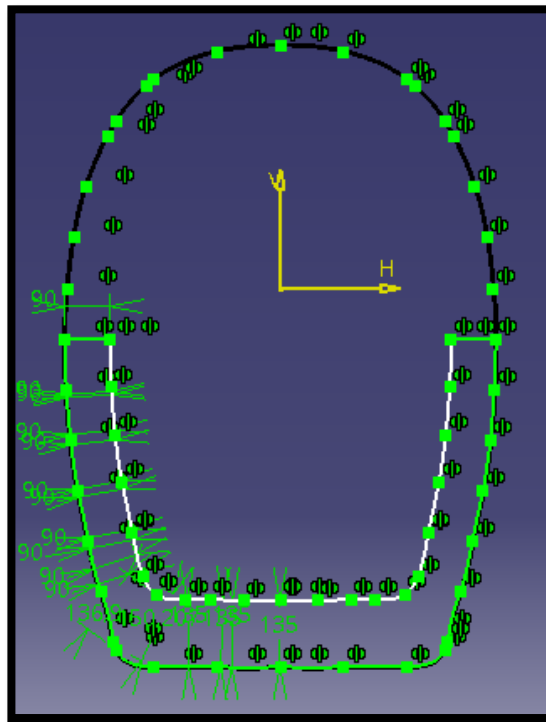


Figura 5-126. Sección 6: Sketch correspondiente a la extrusión

De nuevo, como operación de acabado realizamos el vaciado de la superficie, que servirá para alojar largueros (laterales e inferiores) y remaches.

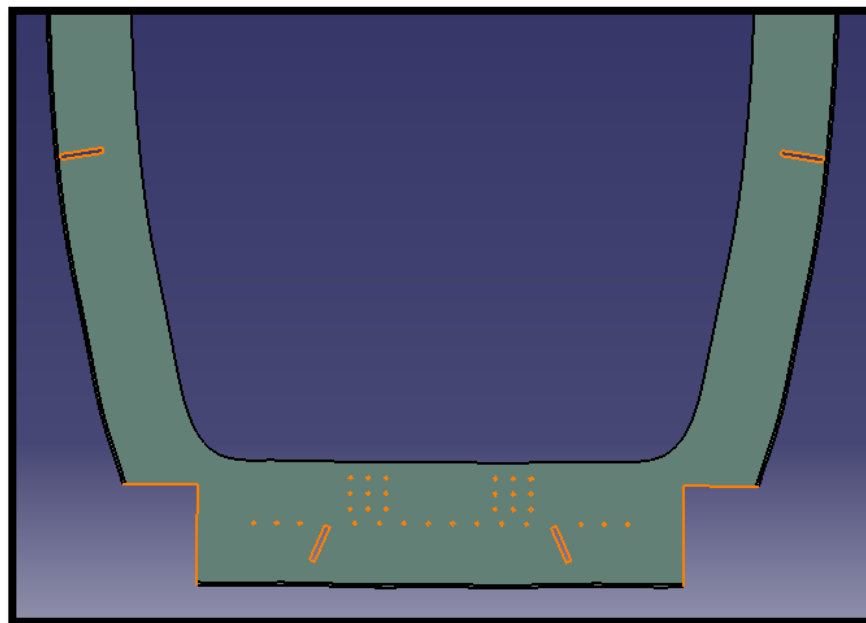


Figura 5-127. Sección 6: Operación de vaciado con Pocket para finalizar

El taladrado que se observa se trata de circunferencias de 3.5 mm de diámetro y no pasantes (profundidad del agujero de 10 mm), situadas en la parte posterior de la sección 6.

5.1.4.2 Refuerzo inferior 6

Parte de ese taladrado sirve para alojar estos refuerzos que ahora analizamos. Refuerzos que sirven como método de sujeción para la estructura de barras que forma parte de los pedales y el joystick.

Realizamos 2 operaciones de *Pad* y 3 de *Pocket*, para obtener la pieza final.

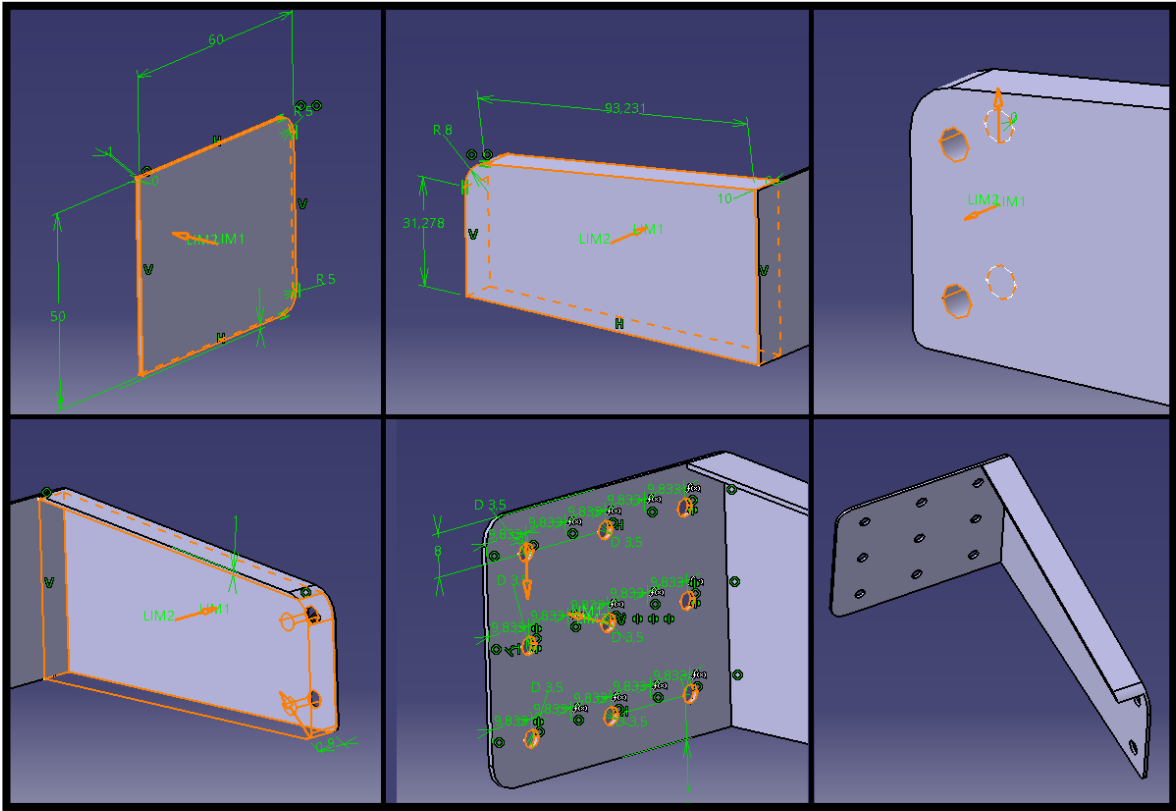


Figura 5-128. Refuerzo inferior 6: Secuencia de actividades en orden correcto

5.1.5 Costilla 8

Se trata de una costilla bastante representativa, puesto que encima de ella se encuentra el panel de instrumentos y debajo los pedales. De esta manera, es muy frecuente ver imágenes de la cabina del piloto en las que aparezca. En este caso el libro que usamos con principal guía de nuestro trabajo sí que posee planos acotados de la pieza en cuestión, de los que haremos uso junto con los puntos del contorno exterior.

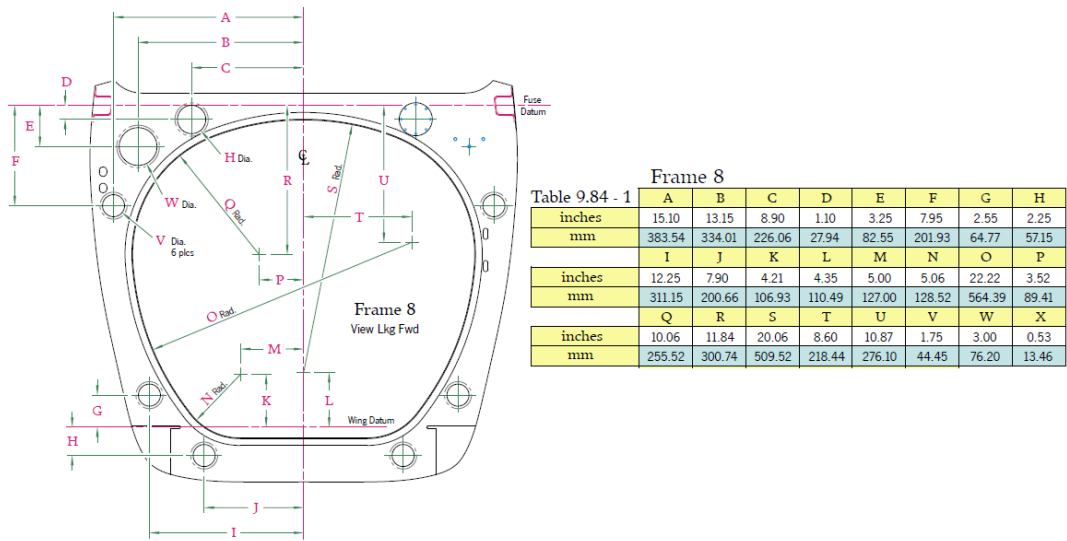


Figura 5-129. Costilla 8: Planos + tabla de cotas

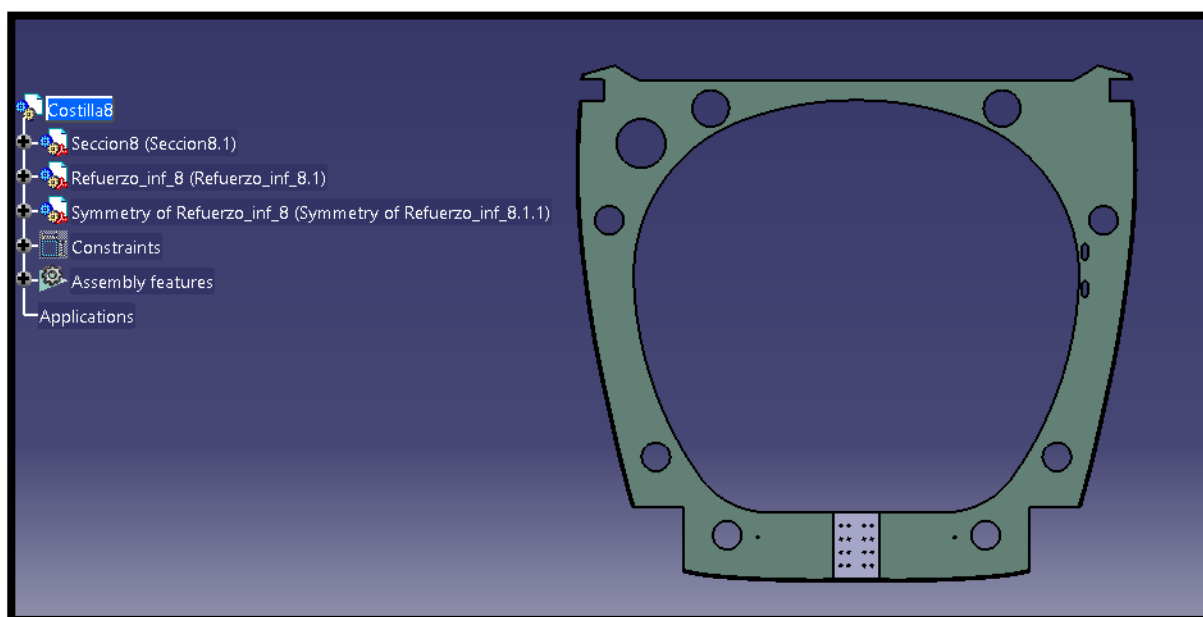


Figura 5-130. Costilla 8 en nuestro modelo

5.1.5.1 Sección 8

Con las medidas que tenemos, junto con la proyección de los puntos del contorno exterior, realizamos el perfil del marco. Se trata de un caso particular, puesto que en este caso le daremos un espesor a la sección de 30 mm (diferente de los habituales 27 mm).

Nuevamente hacemos una superficie externa con la operación *Rib* de las mismas características que en las anteriores costillas. Por último, realizamos el vaciado de los contornos que se especifican en el plano que se muestra en la Figura 5-129 (aquí se encuentra toda la información como el diámetro de las circunferencias) y también de los remaches con los que colocamos, por ejemplo, el refuerzo inferior (D 3.5 mm).

5.1.5.2 Refuerzo inferior 8

Situado en las caras anterior y posterior, se trata de una placa de 1 mm de espesor muy fácil de modelar (en dos operaciones: *Pad* y *Pocket*).

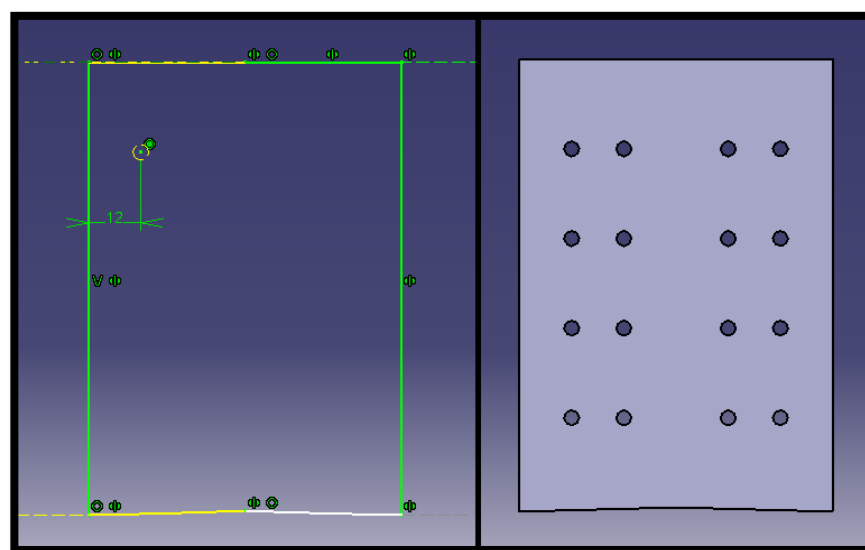


Figura 5-131. Refuerzo inferior 8: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.6 Costilla 9

También se trata de una costilla de particular interés, principalmente su parte inferior donde se sitúan una serie de piezas que forman parte del mecanismo de los pedales, sirviendo como tope en el movimiento que estos realizan. Nuevamente, contamos con planos detallados en el libro, pero sin acotar (hacemos uso del software GeoGebra para la obtención de puntos suficientes para definir sus componentes).

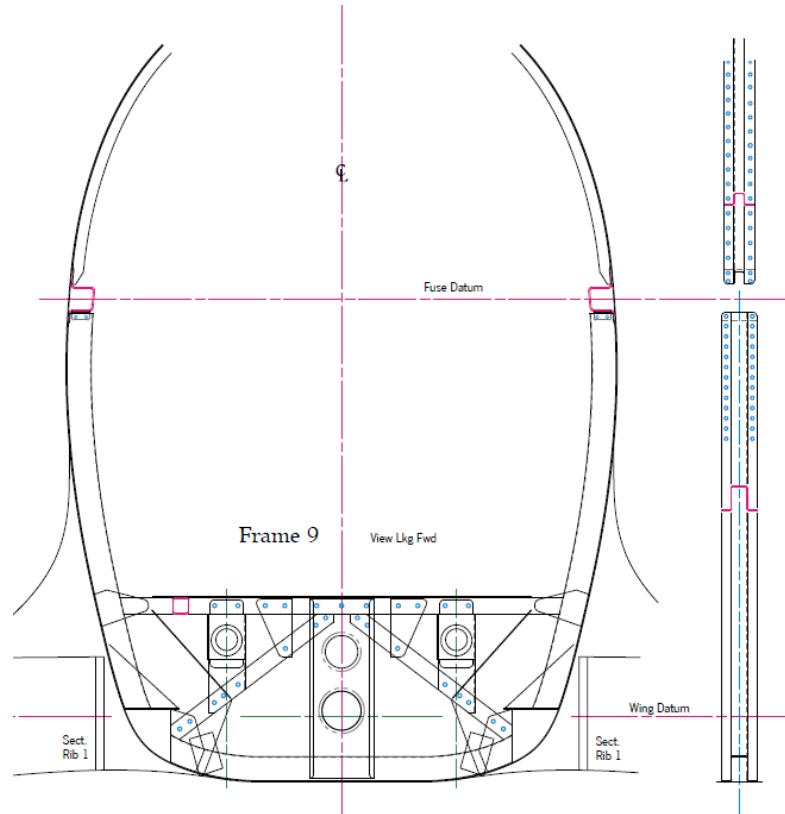


Figura 5-132. Costilla 9: plano

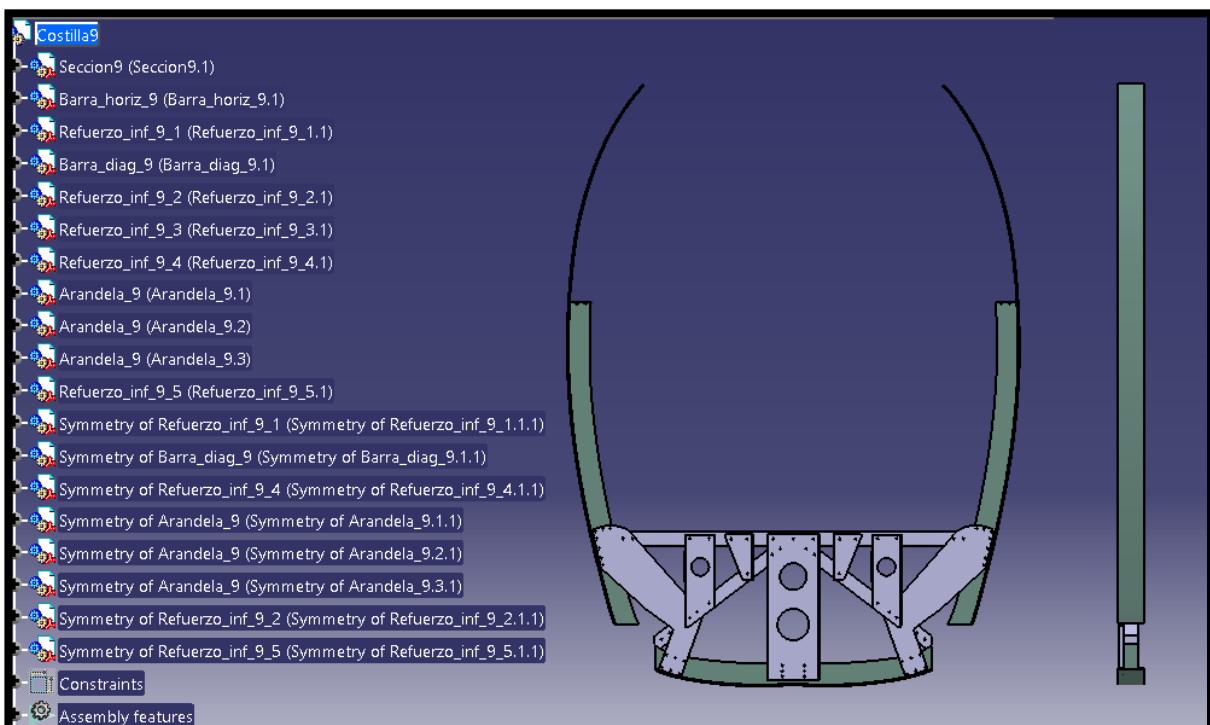


Figura 5-133. Costilla 9 en nuestro modelo

Se aprecia una pequeña diferencia en la vista de perfil. En los planos tenemos un agujero donde se alberga el larguero lateral principal, mientras que en nuestro modelo no. No obstante, se garantiza que el larguero entra sin colisión en el hueco correspondiente.

5.1.6.1 Sección 9

La realización de esta parte es sencilla al contar con todos los puntos del contorno del marco y de los posteriores agujeros. Lo primero que haremos será unir los puntos que componen el marco y darles un espesor de 27 mm mediante la operación *Pad*.

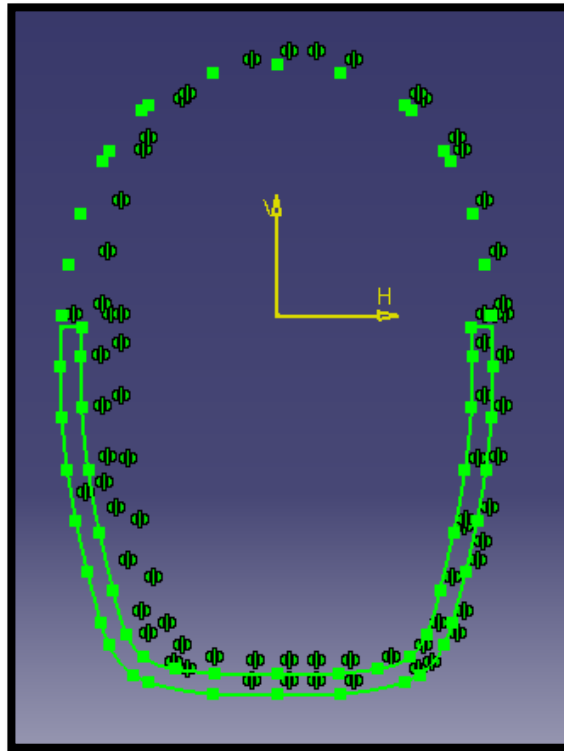


Figura 5-134. Sección 9: Sketch correspondiente a la operación Pad

Ahora, mediante la operación *Rib* (con perfil un rectángulo de 50 x 3 mm y curva guía el contorno exterior), realizamos la superficie de sujeción de la costilla con el revestimiento.

Por último, conociendo la forma y la posición del vaciado a realizar, procedemos a su ejecución mediante la orden *Pocket*. La mayor parte del taladrado, situado en la cara posterior, de diámetro 3.5 mm y con una profundidad de 10 mm (no pasante), sirve para la sujeción de los refuerzos mediante remachado. Los 4 agujeros superiores tienen las mismas características con la excepción de que si son pasantes y están destinados a la fijación de los largueros laterales principales.

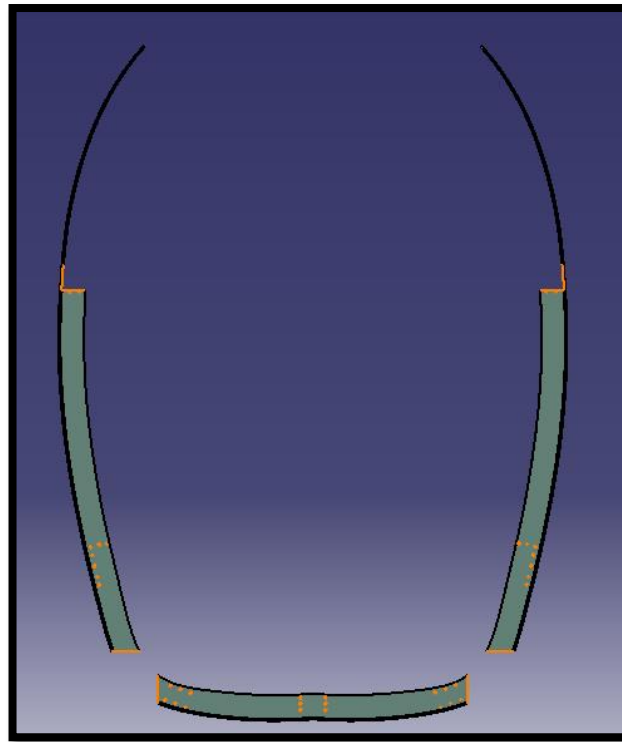


Figura 5-135. Sección 9 finalizada con la operación de vaciado resaltada

5.1.6.2 Barra horizontal 9

La posición de la barra horizontal y su longitud según el eje vertical (27.47 mm) quedan determinadas por la proyección de puntos según los planos. En cuanto a la longitud según el eje horizontal, para evitar la colisión con el marco de la costilla, hacemos que las 4 esquinas se encuentren a 1 mm del contorno interior. Extrusión de 27 mm.

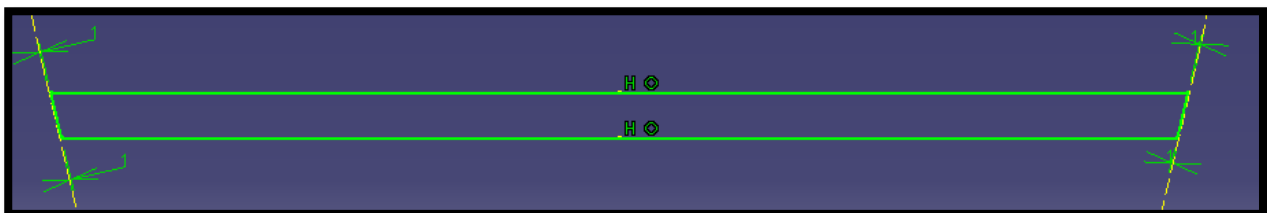


Figura 5-136. Barra horizontal 9: Sketch correspondiente a la operación Pad

En la parte frontal realizamos el taladrado para sujeción de refuerzos inferiores, de manera que los agujeros son pasantes de diámetro 3.5 mm, mientras que en la cara superior, aun siendo del mismo diámetro, la profundidad del agujero es de 8 mm.

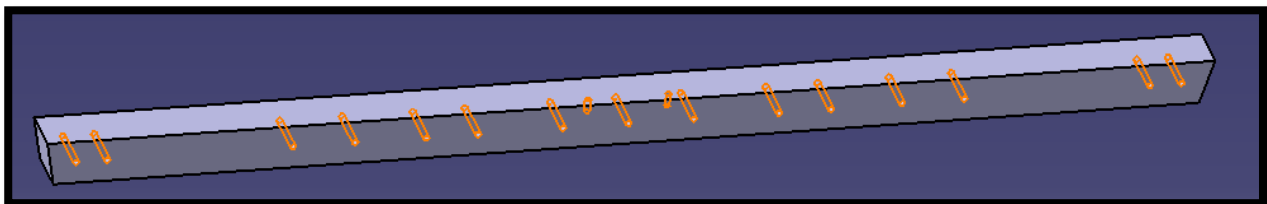


Figura 5-137. Barra horizontal 9 finalizada (Pocket resaltado)

5.1.6.3 Barra diagonal 9

Operación de modelado similar a la anterior con la particularidad de que las esquinas de esta barra se deben adecuar a la superficie inferior de la barra horizontal y a la superficie interior del marco de la costilla.

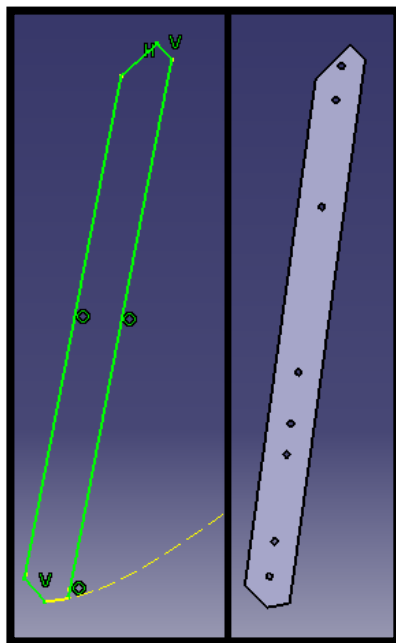


Figura 5-138. Barra diagonal 9: Primer sketch y pieza finalizada

5.1.6.4 Refuerzos inferiores 9

Se trata de 9 chapas metálicas de 1 mm de grosor (5 diferentes), de las cuales 7 se sitúan en la parte posterior y 2 en la anterior. El proceso de recreación de todas estas piezas es muy similar, basándose en las operaciones *Pad* y *Pocket*. Como fuente de información utilizamos los planos, de los que tomamos puntos característicos que usamos en el entorno de CATIA, así como fotografías presentes en el libro (de particular ayuda, aquellas que muestran los pedales). Mostramos a continuación el resultado final de las 5 piezas diferentes, así como su posición en el entorno de la costilla 9.

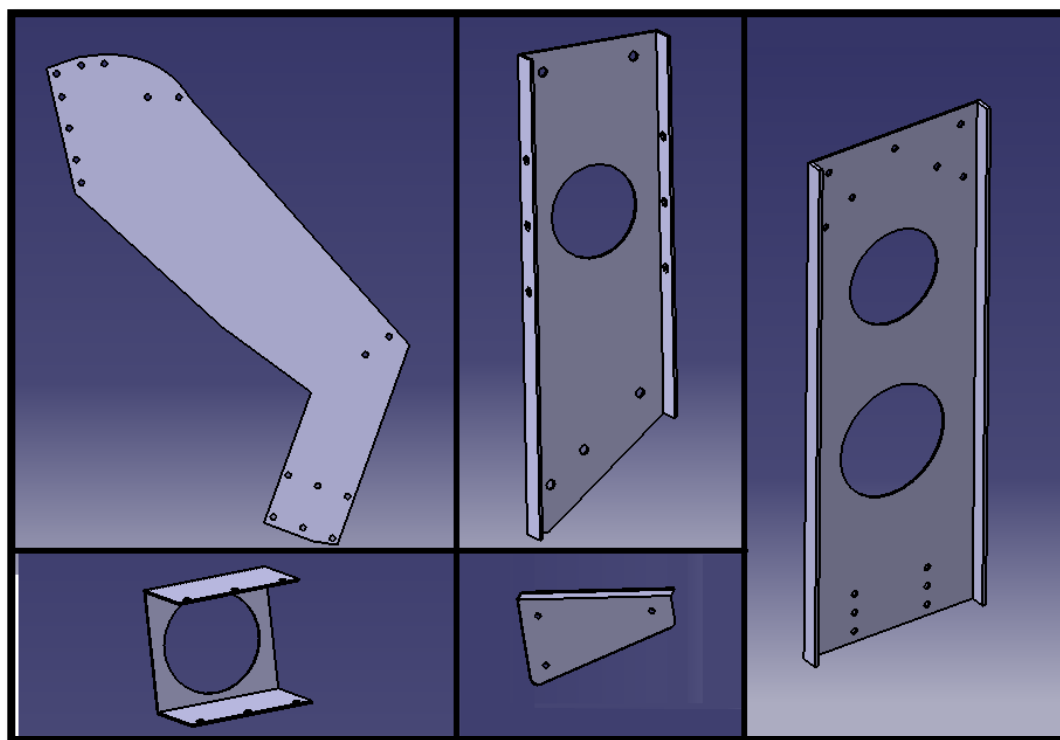


Figura 5-139. Refuerzos inferiores 9

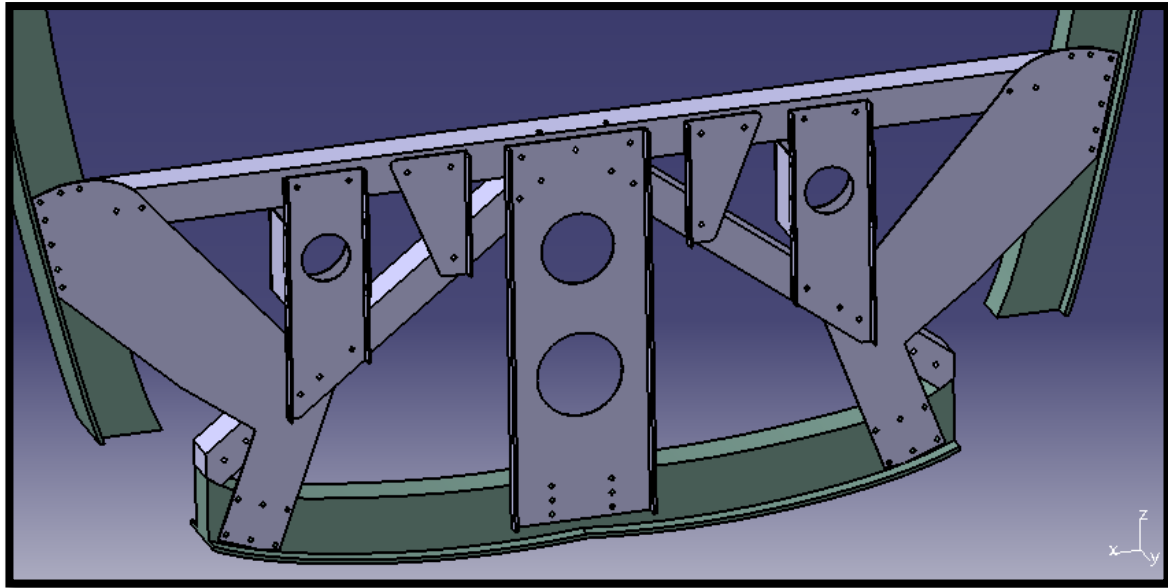


Figura 5-140. Refuerzos inferiores 9: cara posterior; se pueden apreciar los de la cara anterior

5.1.7 Costilla 10

Los planos de la costilla 10 cumplen características similares a los de la costilla 9, de ahí que el proceso seguido sea muy parecido. La principal característica es que no es simétrica en cuanto a la operación *Rib* se refiere.

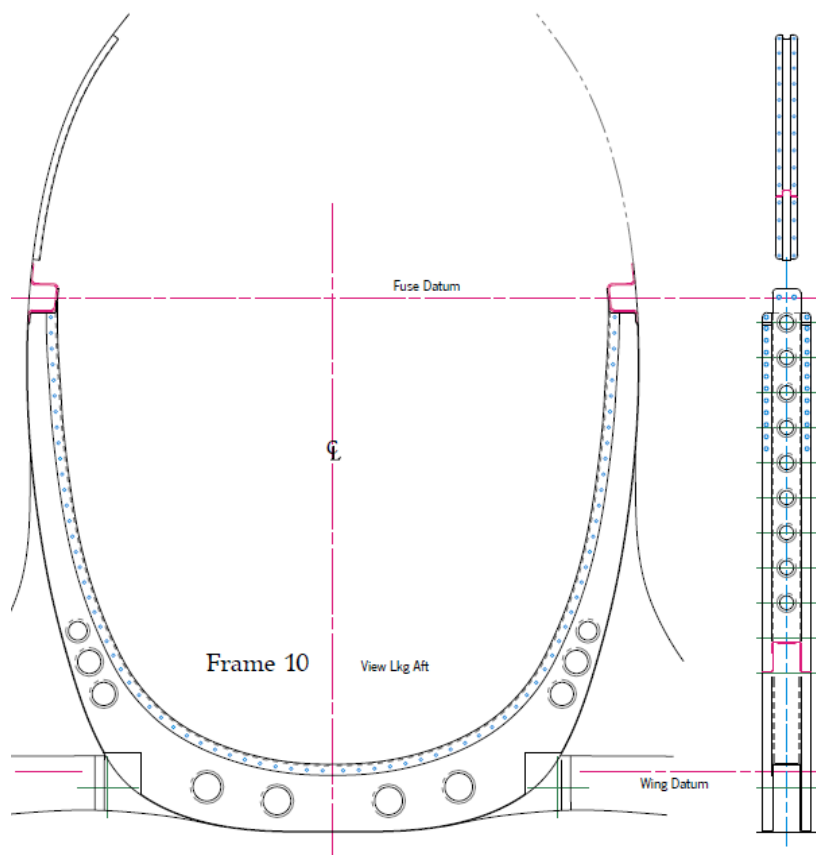


Figura 5-141. Costilla 10: plano

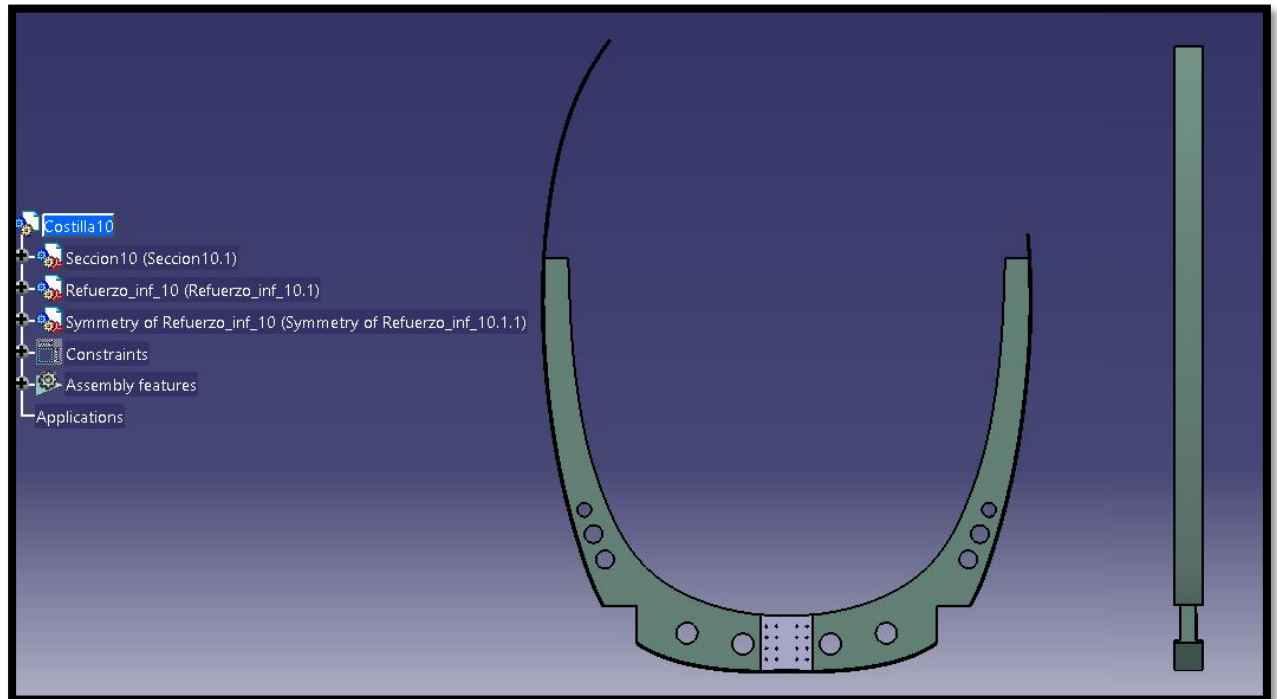


Figura 5-142. Costilla 10 en nuestro modelo

5.1.7.1 Sección 10

De nuevo se trata de una sucesión de operaciones *Pad* (espesor de 27 mm), *Rib* y *Pocket* (conociendo la posición de los centros de las circunferencias y otros puntos característicos de la operación de vaciado). En este caso, tenemos una diferencia en cuanto a la operación *Rib*, cuya curva guía no es simétrica (debemos definir correctamente los límites en ambos extremos), puesto que aquí se encuentra la puerta de acceso a la cabina.

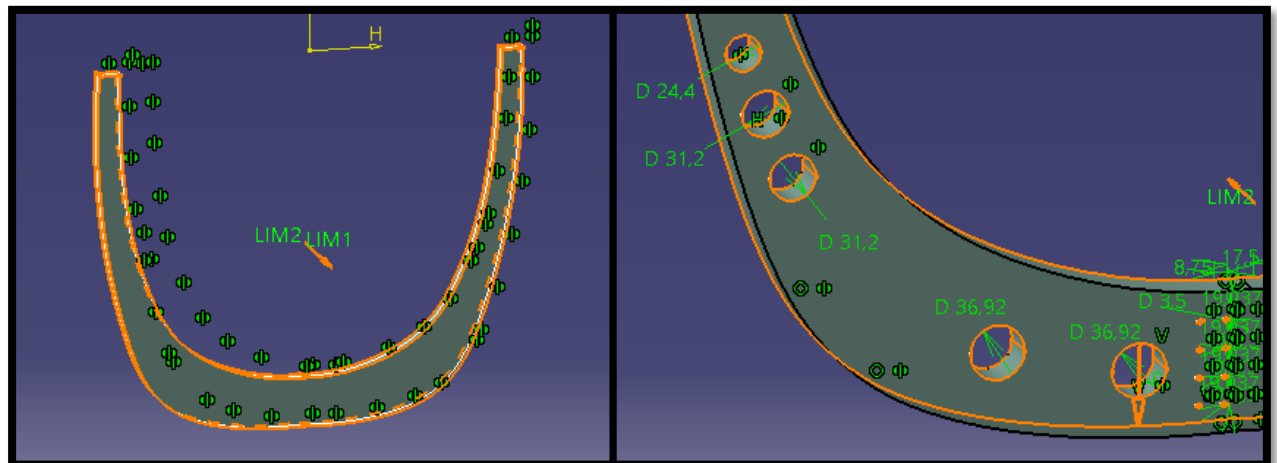


Figura 5-143. Sección10: Operaciones Pad y Pocket. Pueden apreciarse los diferentes diámetros

5.1.7.2 Refuerzo inferior 10

Chapa metálica de 1 mm de espesor que se une por remaches al marco de la costilla 10 (agujeros circulares de 3.5 mm de diámetro).

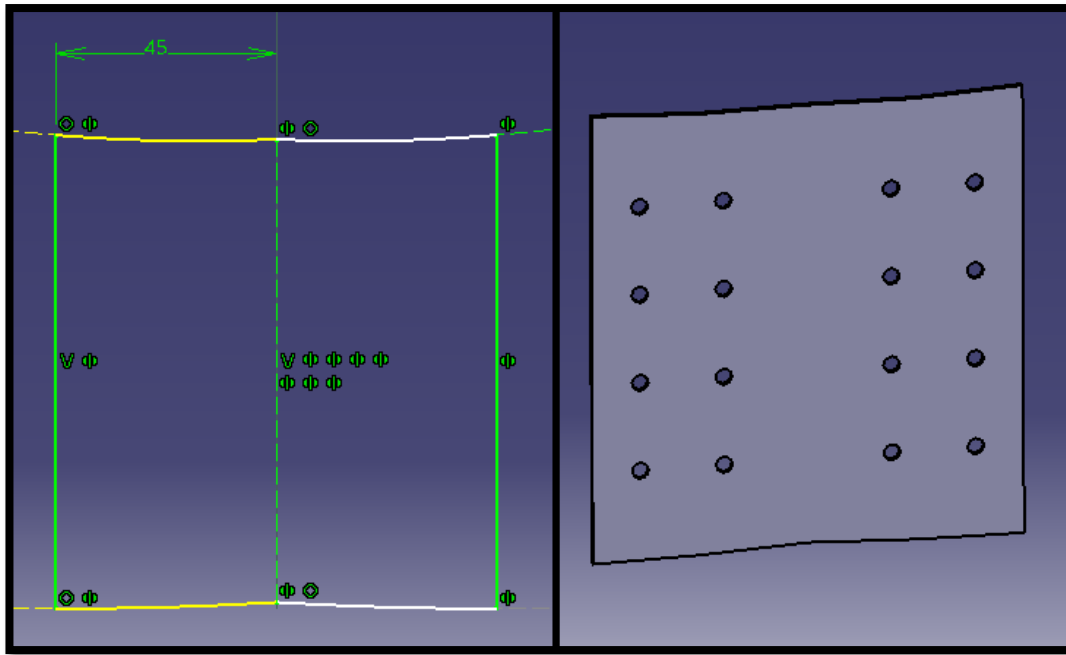


Figura 5-144. Refuerzo inferior 10: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.8 Costilla 12

Llegamos a la costilla que se sitúa aproximadamente en el centro del avión. Por ello, es la costilla de la que hemos partido a la hora de realizar el ensamblaje del fuselaje, es decir, aquella que se encuentra “fija” (constraint *Fix*).

De aquí en adelante carecemos de planos específicos de las costillas en la documentación de Paul H. Monforton. Por este motivo hacemos uso conjunto del software GeoGebra y planos sin acotar que encontramos por internet, que como veremos son bastante precisos.

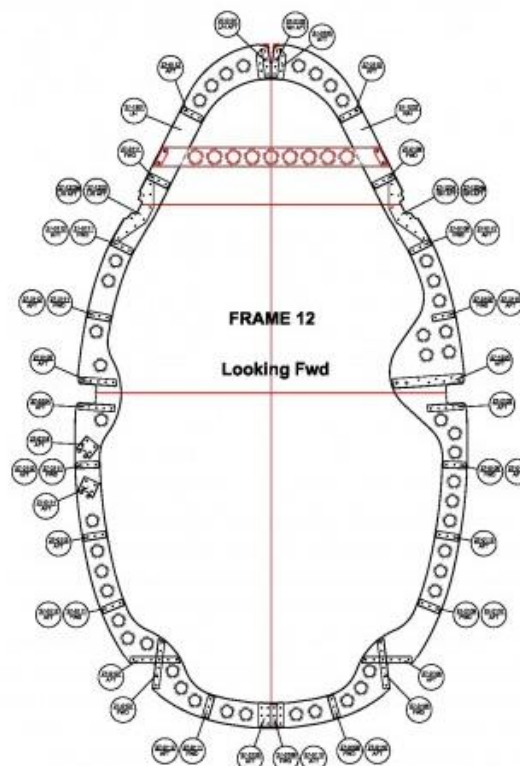


Figura 5-145. Costilla 12: plano

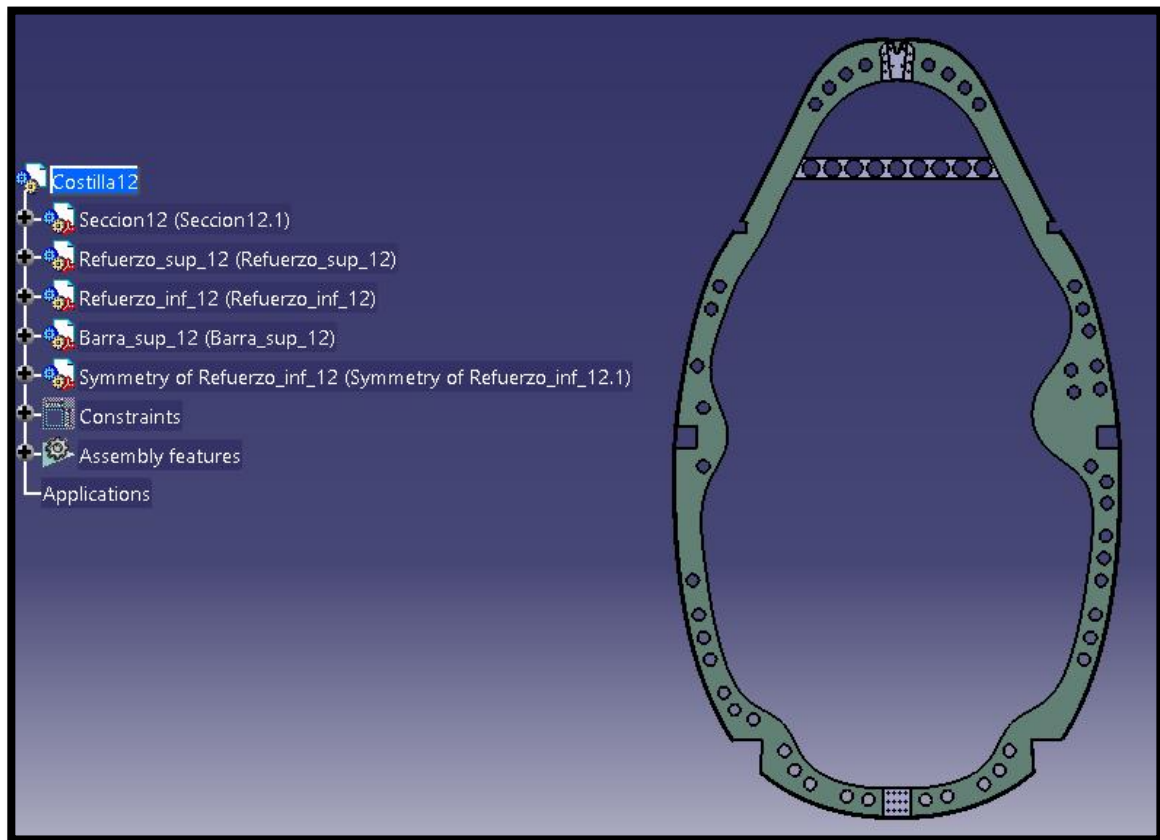


Figura 5-146. Costilla 12 en nuestro modelo

5.1.8.1 Sección 12

En este caso el proceso de modelado se complica pues, como podemos observar, se trata de una pieza no simétrica en su totalidad (y no solamente con respecto a la posición de los taladros, sino también en la forma del marco). Por tanto, tendremos que introducir las dos mitades en GeoGebra y tomar puntos suficientes para su correcta recreación.

Una vez tenemos las coordenadas y las introducimos en CATIA mediante la macro correcta, procedemos a la realización del perfil. En el caso del contorno exterior unimos los puntos mediante *Spline* y hacemos simetría con respecto al eje vertical, mientras que en el caso del contorno interior tendremos que hacer dos *Spline*, uno para la parte derecha y otro para la parte izquierda (como podemos observar algunos puntos de este contorno sí que son simétricos).

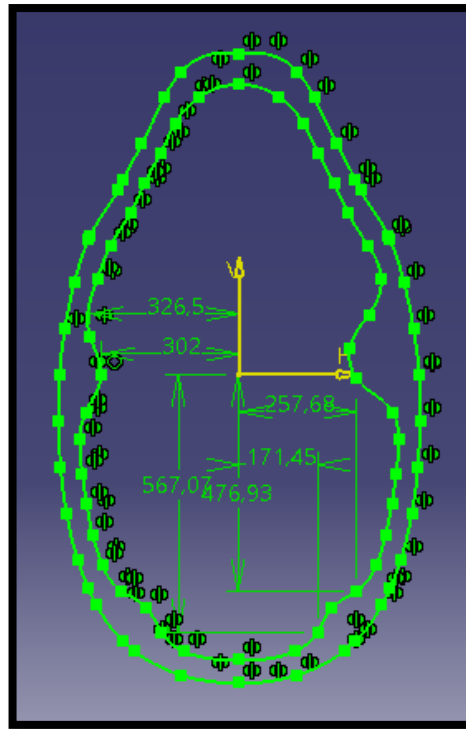


Figura 5-147. Sección 12: Sketch de la extrusión

Le damos un espesor de 27 mm (*Pad*) y le añadimos la superficie externa cuyo perfil es un rectángulo de 50 x 3 mm, como hemos hecho en las costillas anteriores (*Rib*).

Finalmente vaciamos correctamente la superficie, en la que tenemos:

- Agujeros circulares pasantes de diámetro 22 mm.
- Agujeros circulares pasantes de diámetro 3.5 mm para el remachado de los refuerzos inferiores.
- Agujeros circulares de profundidad 10 mm y diámetro 3.5 mm en la cara anterior del marco para el remachado del refuerzo superior.
- Agujeros circulares de profundidad 10 mm y diámetro 3.5 mm en la cara posterior del marco para el remachado de la barra superior.
- Agujeros pasantes para alojar los largueros inferiores principales y los laterales principales y como raíles para la cubierta de la cabina.
- Agujero para el alojamiento del larguero superior 11-12, que se extiende desde el plano zx hasta la cara anterior de la superficie modelada por *Rib*.

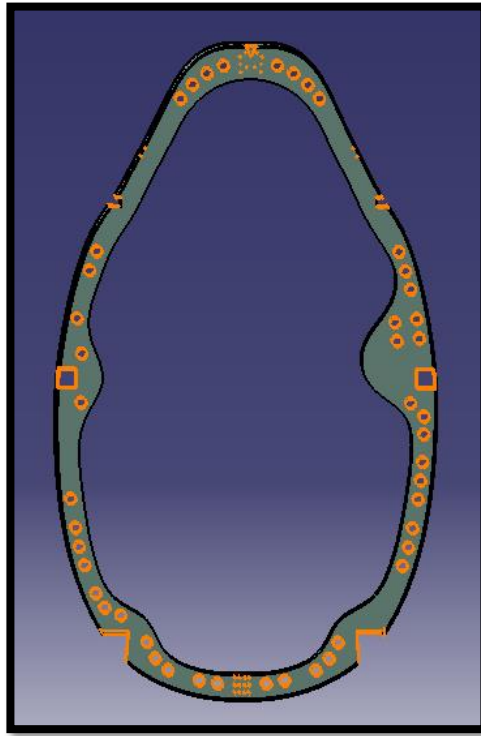


Figura 5-148. Sección 12 finalizada con la operación de vaciado resaltada

5.1.8.2 Refuerzo superior 12

Se trata de un refuerzo más complejo que sirve como sujeción para el larguero superior 11-12. Para su recreación nos basamos en la forma que podemos observar en el plano del que disponemos. El agujero triangular que presenta en la parte superior se realiza en concordancia con la forma del larguero en cuestión.

Necesitamos dos operaciones *Pad*, una de *Pocket* y una de *Pad* y *Pocket* más su simetría con respecto al plano yz. Mostramos a continuación la secuencia de operaciones y la pieza final obtenida.

5.1.8.4 Refuerzo inferior 12

Al igual que en el caso de muchos de los refuerzos que hemos hecho para otras costillas, se trata de una placa metálica de 1 mm de espesor y fácil de modelar, con agujeros pasantes de diámetro 3.5 mm para el remachado.

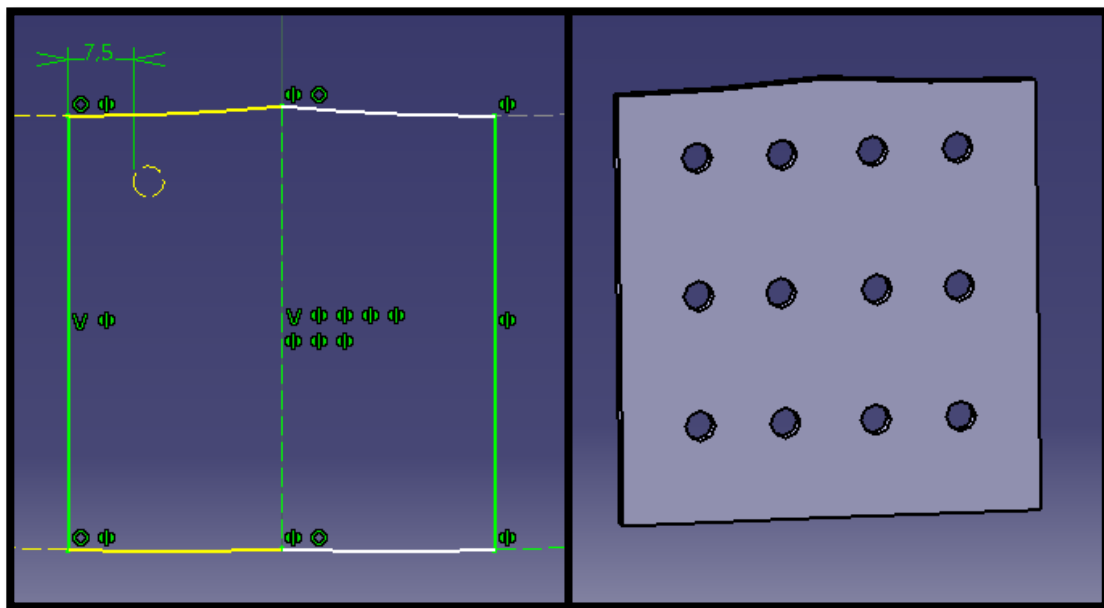


Figura 5-151. Refuerzo inferior 12: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.9 Costilla 13

Volvemos a basarnos para el modelado en un plano encontrado en internet y el uso del software GeoGebra.

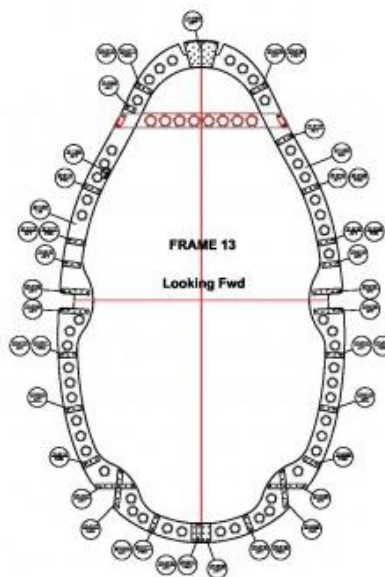


Figura 5-152. Costilla 13: plano

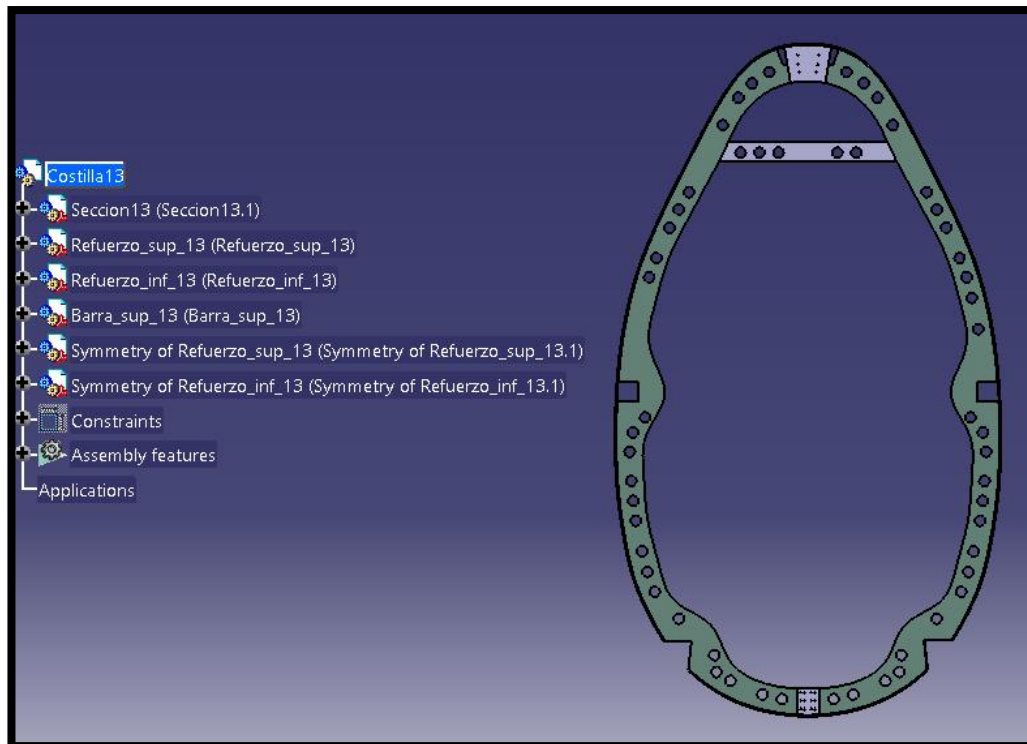


Figura 5-153. Costilla 13 en nuestro modelo

5.1.9.1 Sección 13

En este caso si se trata de una pieza simétrica. Por tanto una vez proyectamos los puntos unimos por *Spline* y hacemos simetría de contorno exterior e interior con respecto al eje vertical. También conocemos la posición de todos los contornos a vaciar (ya sea centro de circunferencias o esquinas de vaciados rectangulares).

Por tanto, seguimos la misma dinámica de siempre: *Pad*, *Rib* y *Pocket*.

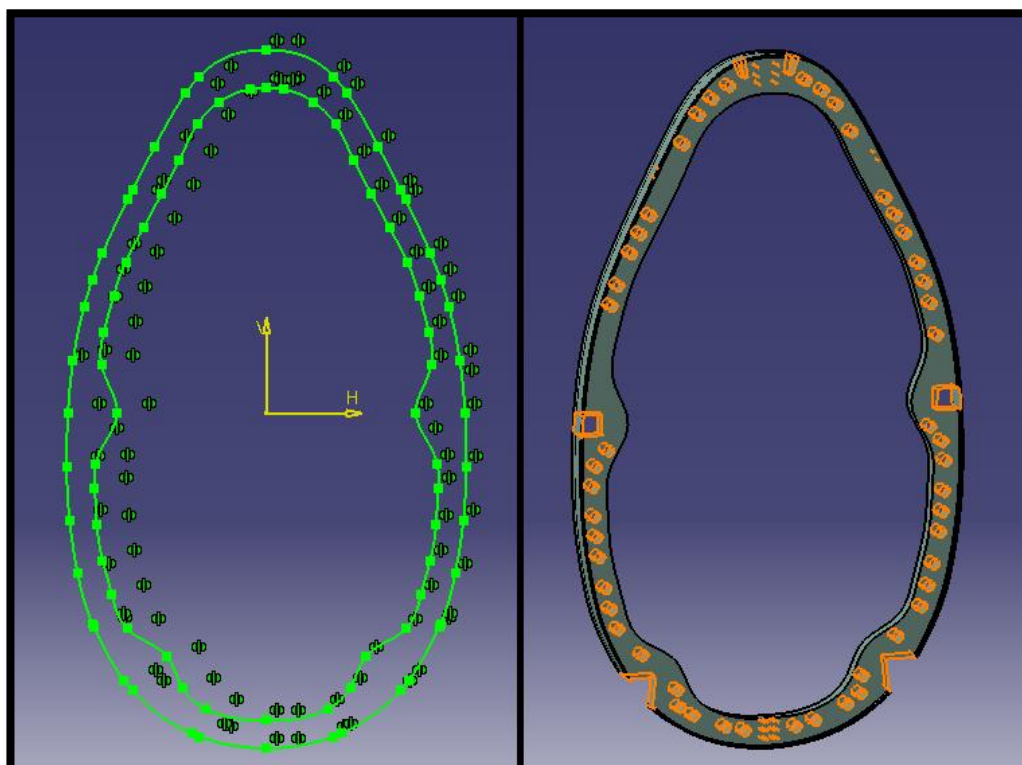


Figura 5-154. Sección 13: Sketch y pieza final con el vaciado remarcado

Todos los agujeros son pasantes a excepción de los correspondientes a la sujeción de la barra superior que se encuentran situados en la cara posterior del marco de la costilla y tienen profundidad de 10 mm y diámetro 3.5 mm. Los agujeros circulares tienen un diámetro de 21 ó 3.5 mm.

5.1.9.2 Refuerzo superior 13

Refuerzo simple, de espesor 1 mm, que se adapta al contorno exterior e interior del marco. Dos operaciones, *Pad* y *Pocket*.

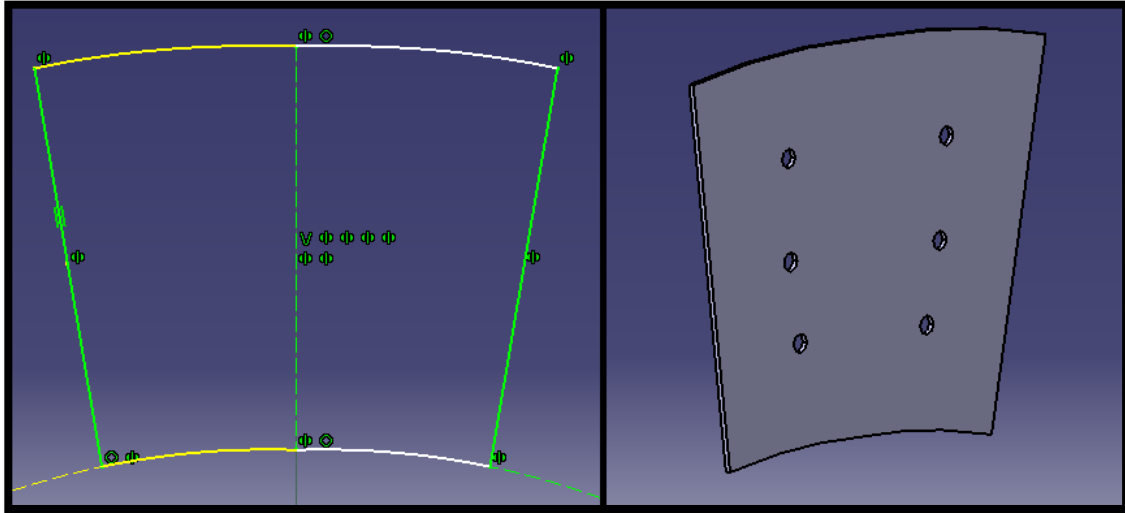


Figura 5-155. Refuerzo superior 13: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.9.3 Barra superior 13

Al igual que en el caso de la costilla 12 se obtiene como secuencia de tres operaciones: *Pad*, *Pocket* y *Slot*. Tenemos agujeros circulares de dos dimensiones: D 21 mm y D 3.5 mm. Grosor de las chapas: 2mm.

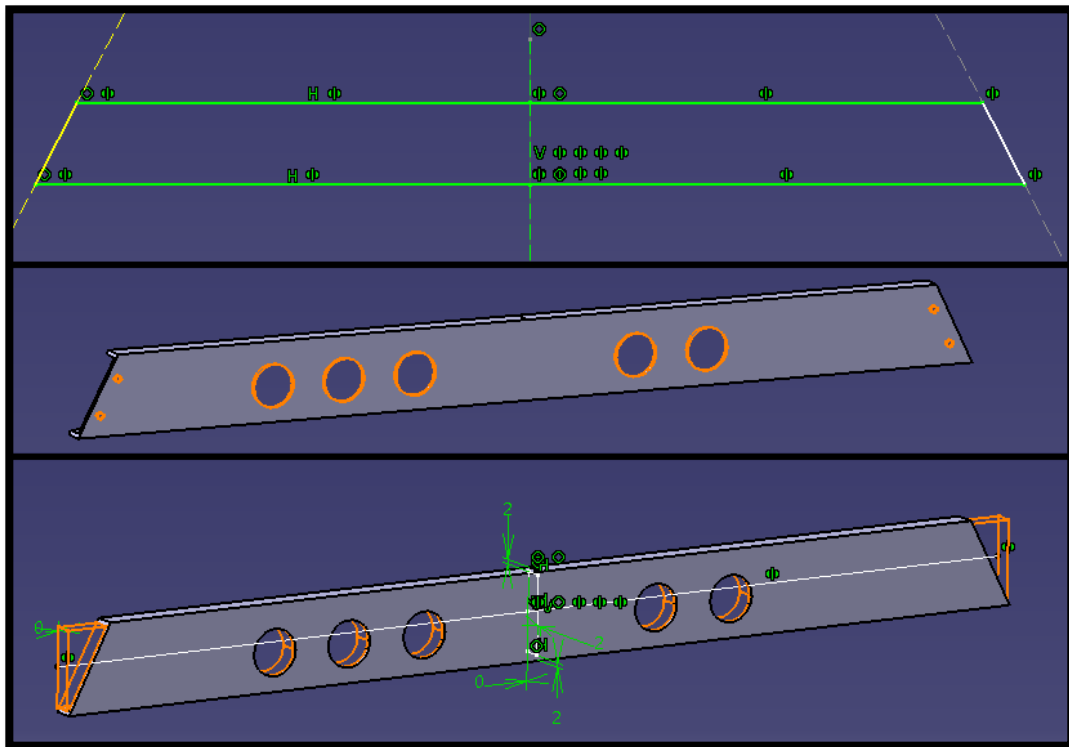


Figura 5-156. Barra superior 13: Secuencia de operaciones

5.1.9.4 Refuerzo inferior 13

Similar al refuerzo superior.

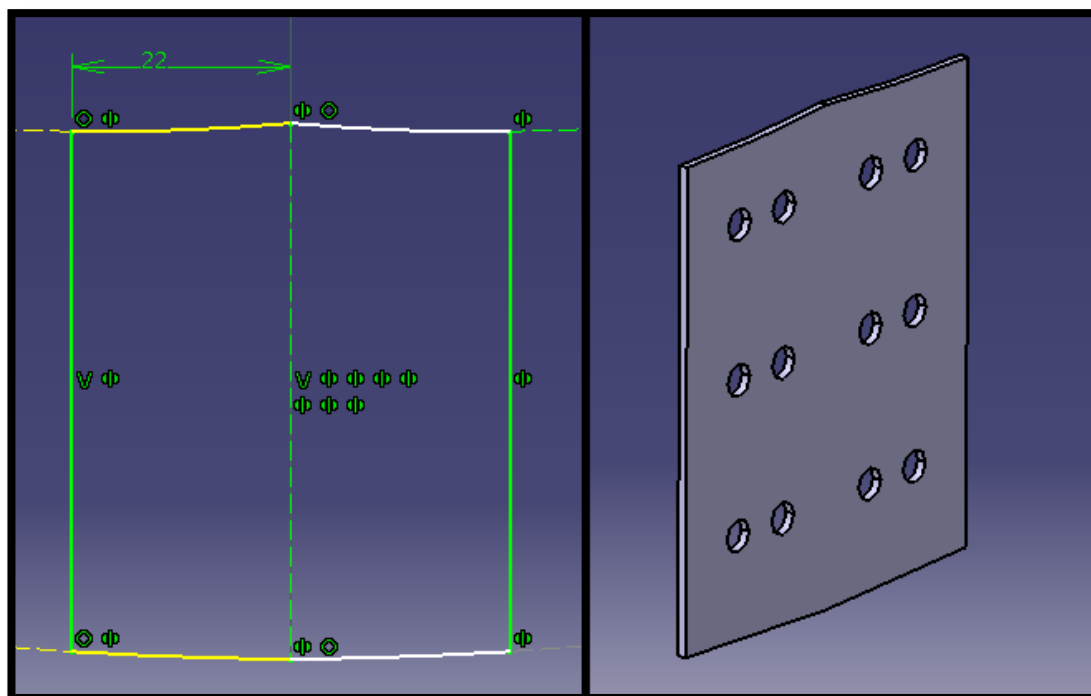


Figura 5-157. Refuerzo inferior 13: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.10 Costilla 14

De nuevo contamos una costilla que sigue una configuración simétrica a excepción de algunos componentes del taladrado. Basamos su modelado en la proyección de puntos obtenidos por GeoGebra.

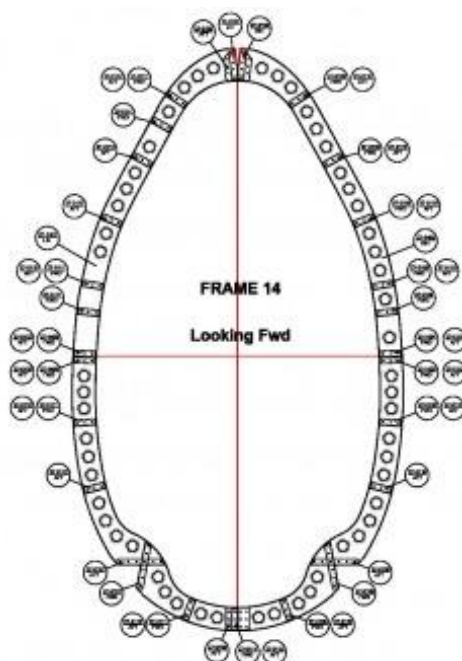


Figura 5-158. Costilla 14: plano

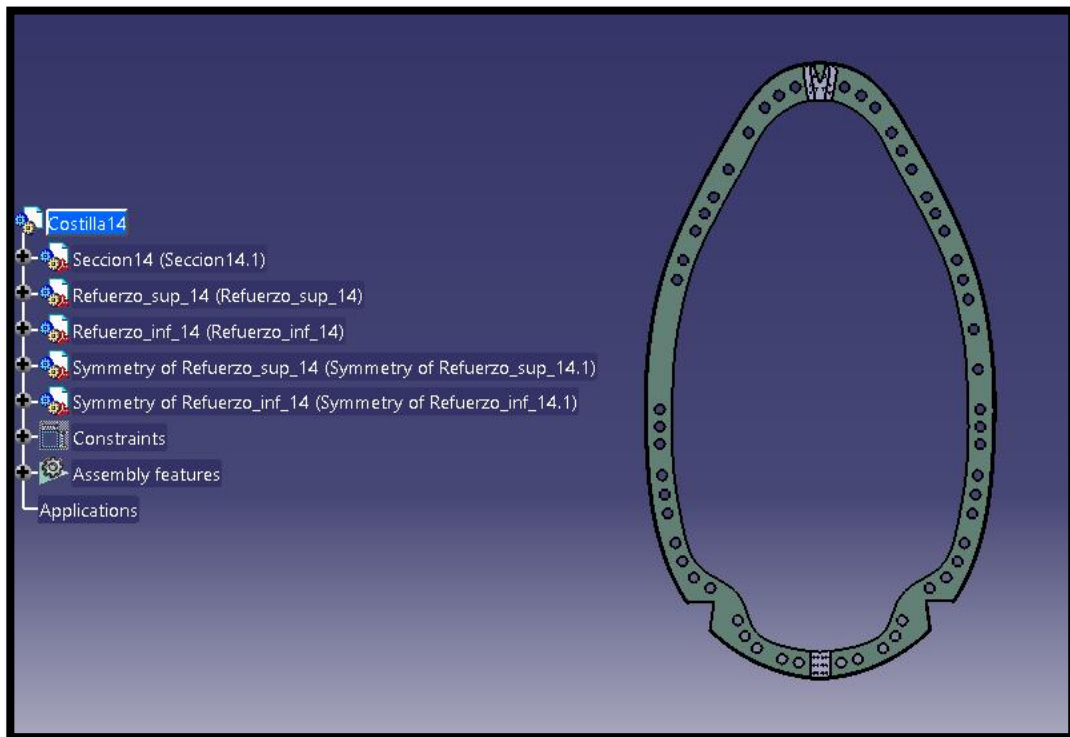


Figura 5-159. Costilla 14 en nuestro modelo

5.1.10.1 Sección 14

De nuevo obtenemos esta pieza atendiendo a tres órdenes de CATIA: *Pad* (espesor 27 mm), *Rib* (perfil rectangular de 50 x 3 mm que sigue el contorno exterior del marco) y *Pocket*. Como hemos dicho anteriormente tendremos que prestar especial atención a la hora de realizar el taladrado de la superficie que no sigue simetría con respecto al yz.

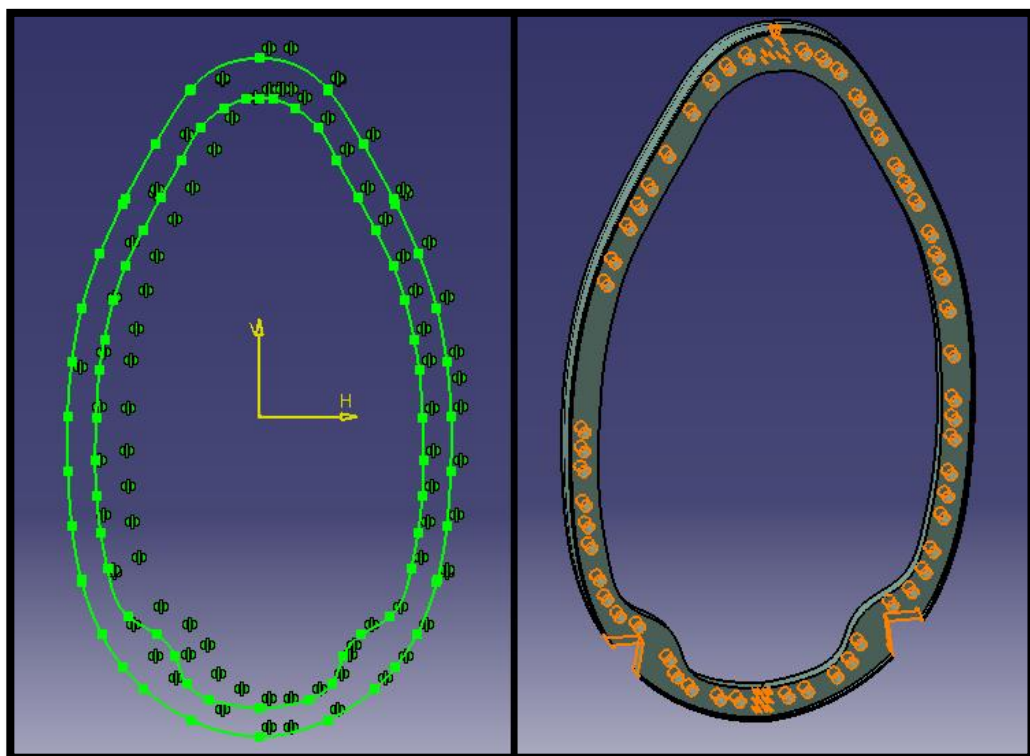


Figura 5-160. Sección 14: Sketch y pieza final con vaciado remarcado

Tenemos agujeros pasantes circulares de diferentes diámetros, 20.6 y 3.5 mm y también un agujero en la parte posterior de la pieza, correspondiente al larguero superior principal, de profundidad 13.5 mm.

5.1.10.2 Refuerzo superior 14

Refuerzo compuesto por 2 piezas de 1 y 3 mm de grosor respectivamente. Su modelado se completa con dos operaciones *Pad* y una *Pocket* (para el remachado, D 3.5 mm).

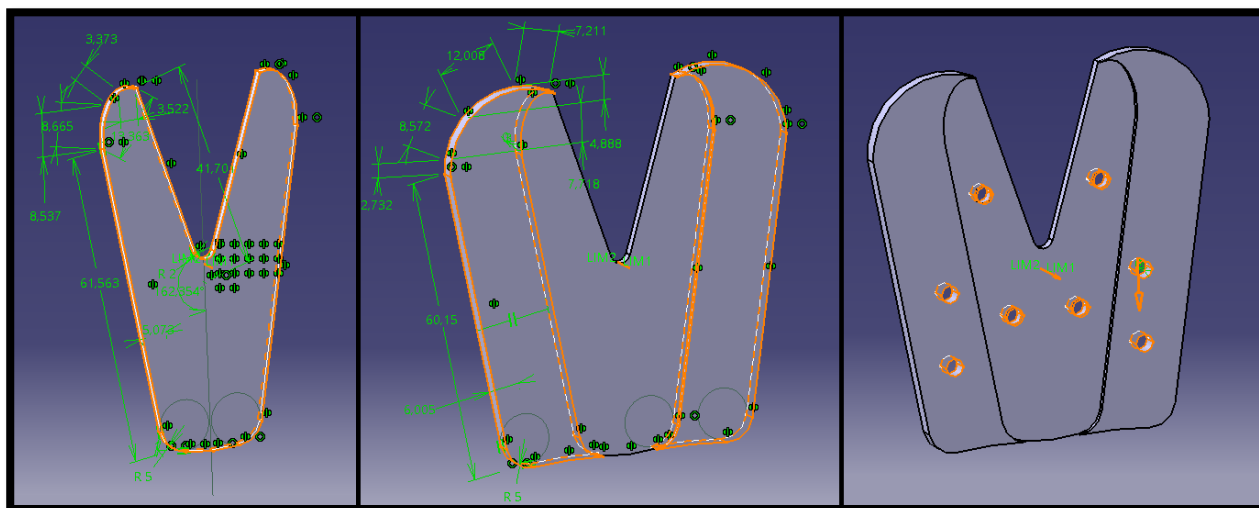


Figura 5-161. Refuerzo superior 14: Secuencia de operaciones

5.1.10.3 Refuerzo inferior 14

Similar a los refuerzos modelados para otras costillas: 1 mm de grosor y con agujeros de diámetro 3.5 mm para remachado.

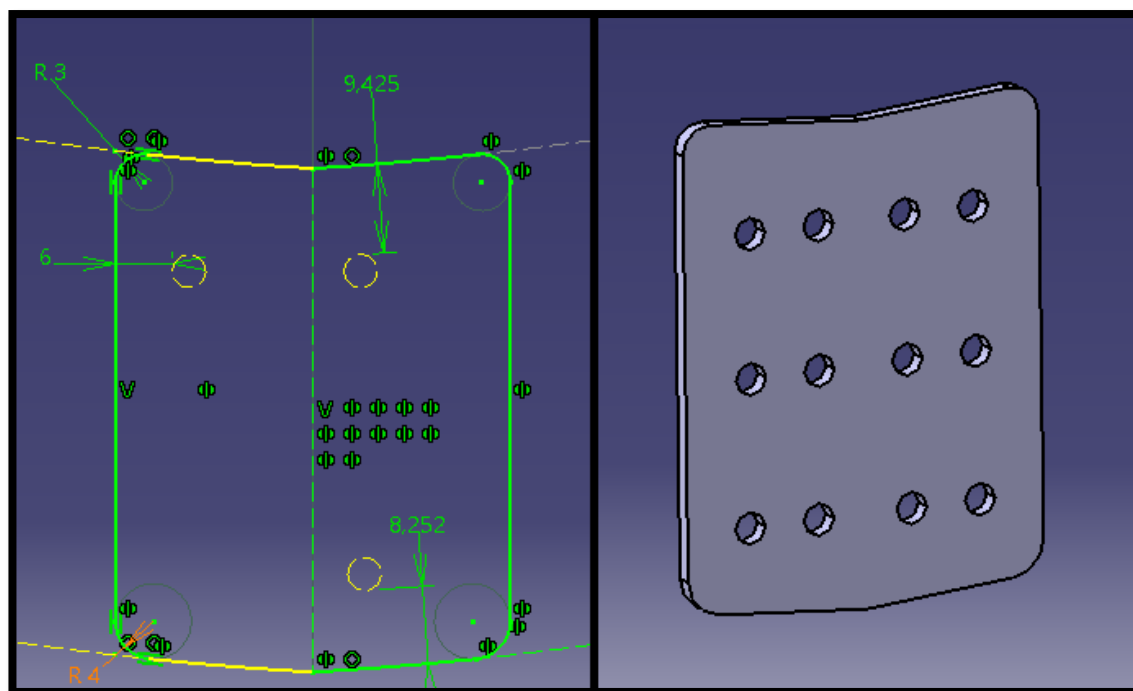


Figura 5-162. Refuerzo inferior 14: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.11 Costilla 15

Basamos su modelado en la proyección de puntos obtenidos por GeoGebra.

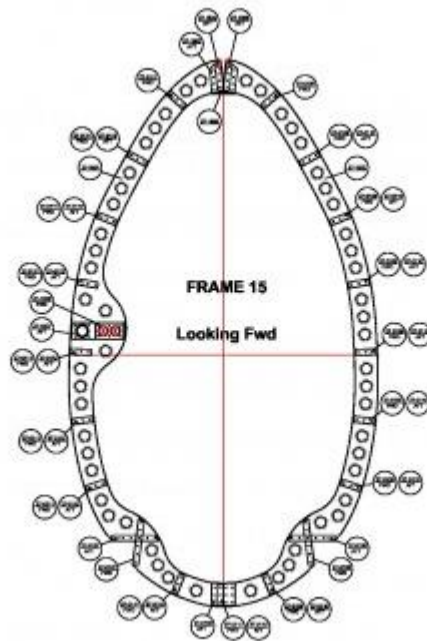


Figura 5-163. Costilla 15: plano

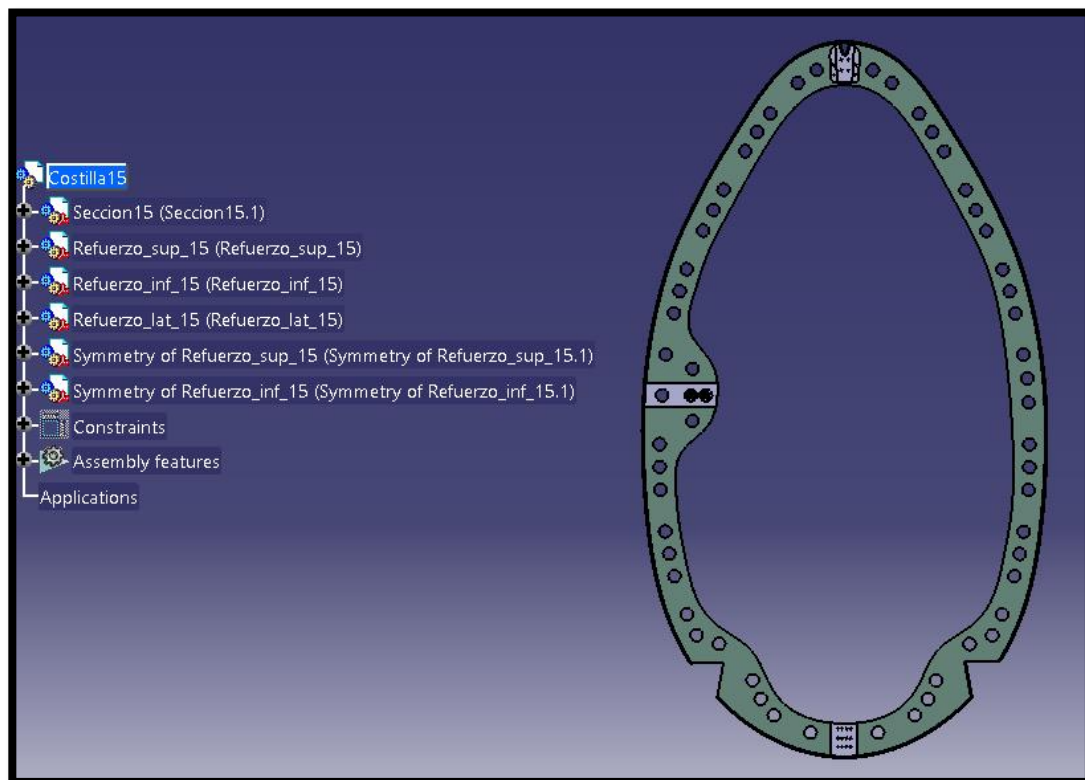


Figura 5-164. Costilla 15 en nuestro modelo

5.1.11.1 Sección 15

Como podemos observar, de nuevo trabajamos con la desventaja de que la costilla no es simétrica, por lo que el proceso de captación de coordenadas con GeoGebra se hará más largo. Una vez hecho esto, el proceso que se sigue toma las mismas pautas que para costillas anteriores: *Pad*, *Rib* y *Pocket*.

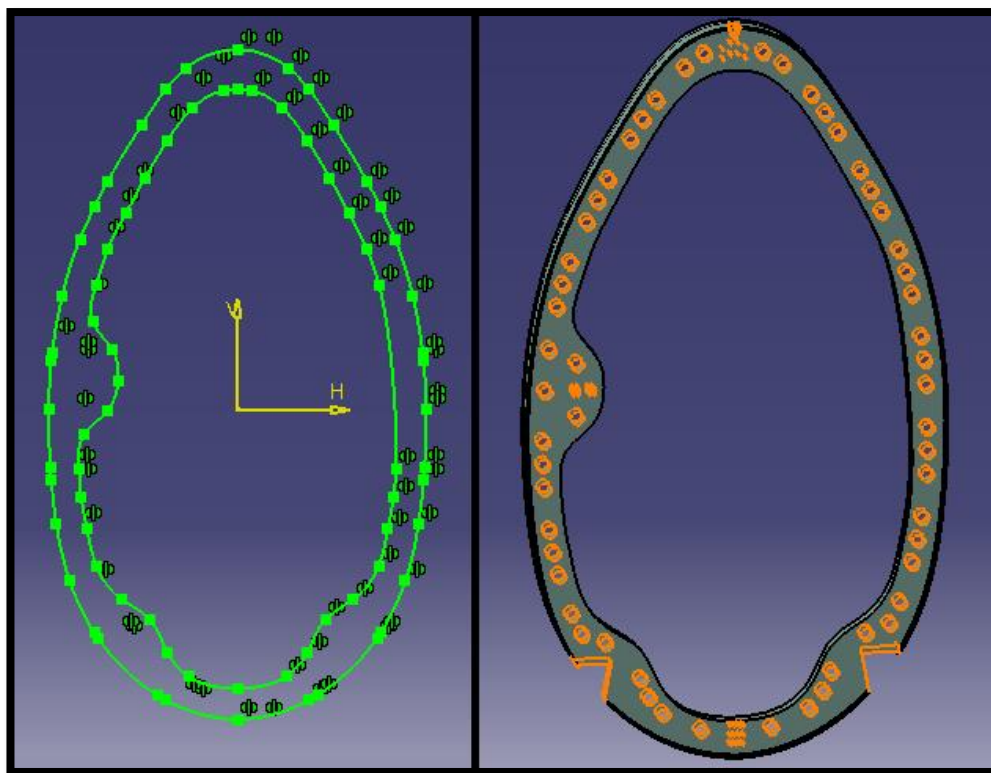


Figura 5-165. Sección 15: Sketch y pieza final con vaciado resaltado

Todos los agujeros son pasantes y los circulares tienen diámetro 21 ó 3.5 mm.

5.1.11.2 Refuerzo superior 15

Diseñado para la sujeción del larguero superior principal, está compuesto por 3 superficies extruidas distintas. Por tanto necesitaremos de 3 operaciones *Pad*, seguida del vaciado (*Pocket*, circunferencias de D 3.5 mm) y redondeo (*EdgeFillet*).

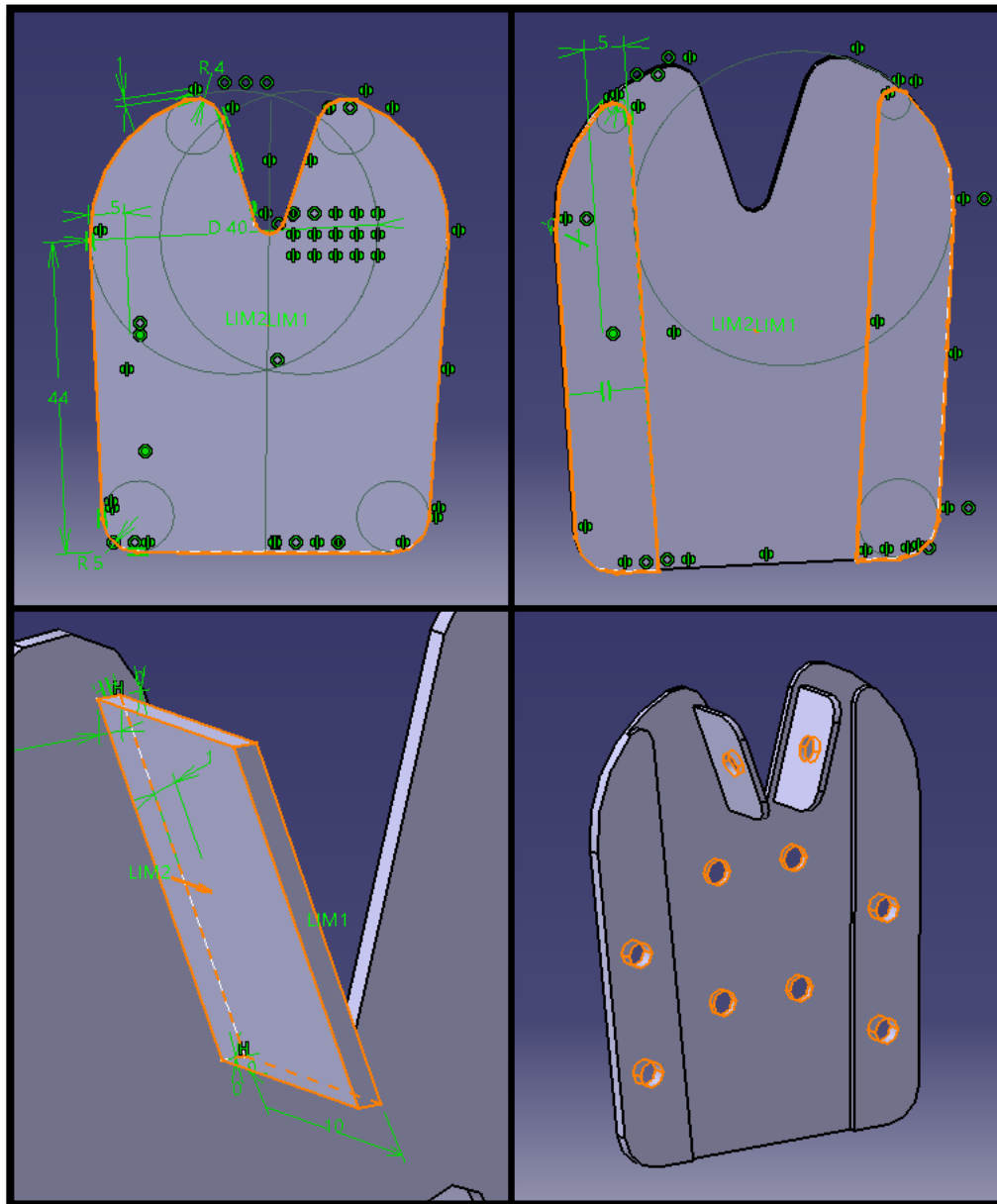


Figura 5-166. Refuerzo superior 15: Secuencia de operaciones

5.1.11.3 Refuerzo lateral 15

Placa metálica prácticamente rectangular de 1 mm de espesor (se adapta a los contornos exterior e interior del marco). La operación de vaciado a realizar cuenta con agujeros alargados, que sirven para enganchar cables tensores que van por dentro de la estructura del fuselaje. Operaciones usadas: *Pad* y *Pocket*.

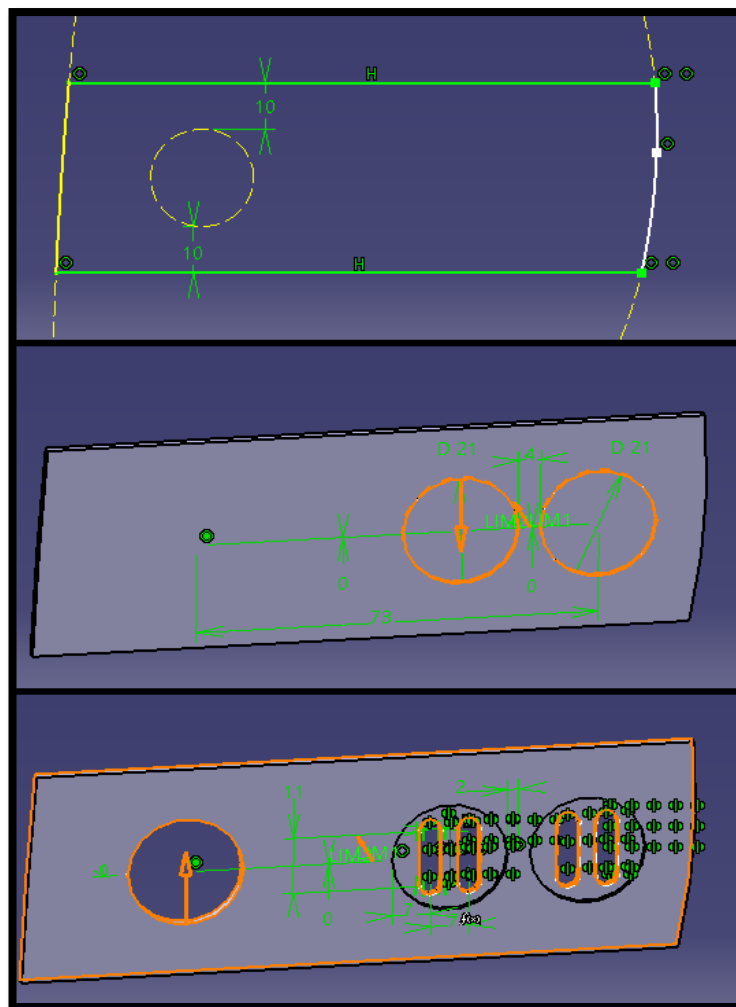


Figura 5-167. Refuerzo lateral 15: Secuencia de operaciones

5.1.11.4 Refuerzo inferior 15

Pieza de 1 mm de espesor, realizada en dos operaciones, una de extrusión y una de vaciado.

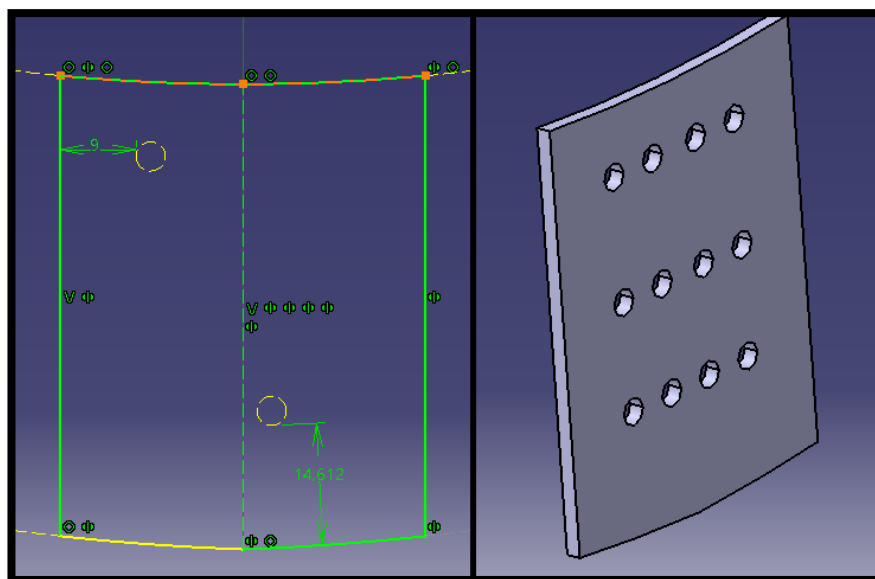


Figura 5-168. Refuerzo inferior 15: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.12 Costilla 16

El proceso de modelado seguido es similar al caso anterior con la diferencia de que esta costilla si es simétrica.

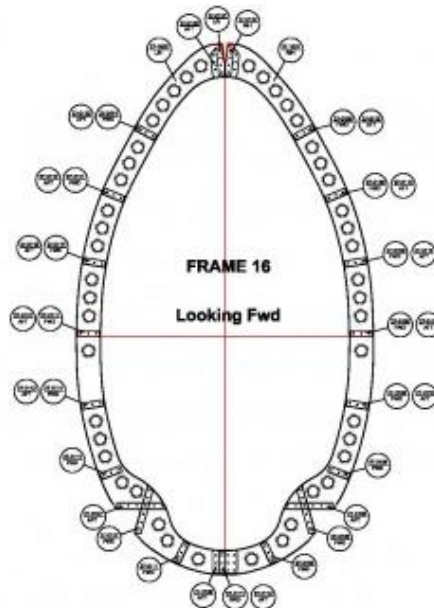


Figura 5-169. Costilla 16: plano

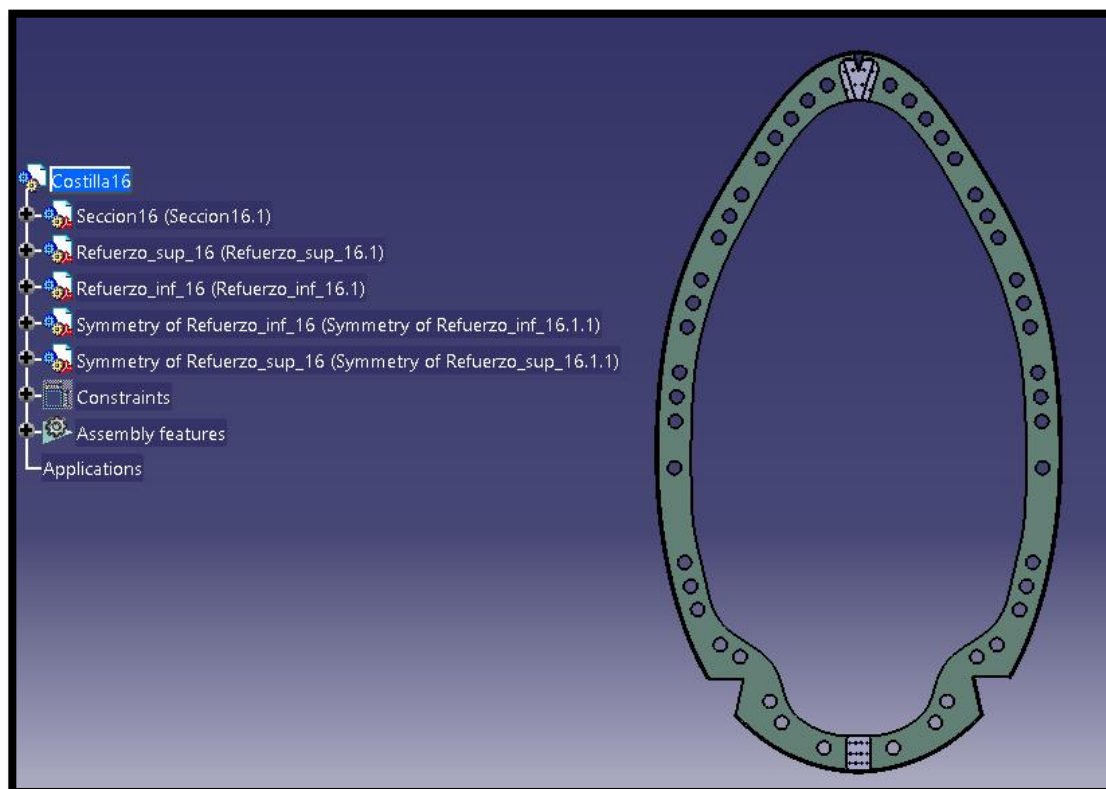


Figura 5-170. Costilla 16 en nuestro modelo

5.1.12.1 Sección 16

Recreación basada en extrusión y vaciado, más la inclusión de la superficie externa siempre presente por *Rib*. Los agujeros son todos pasantes y las circunferencias varían entre diámetro 3.5 mm para el remachado de refuerzos y diámetro 21 mm.

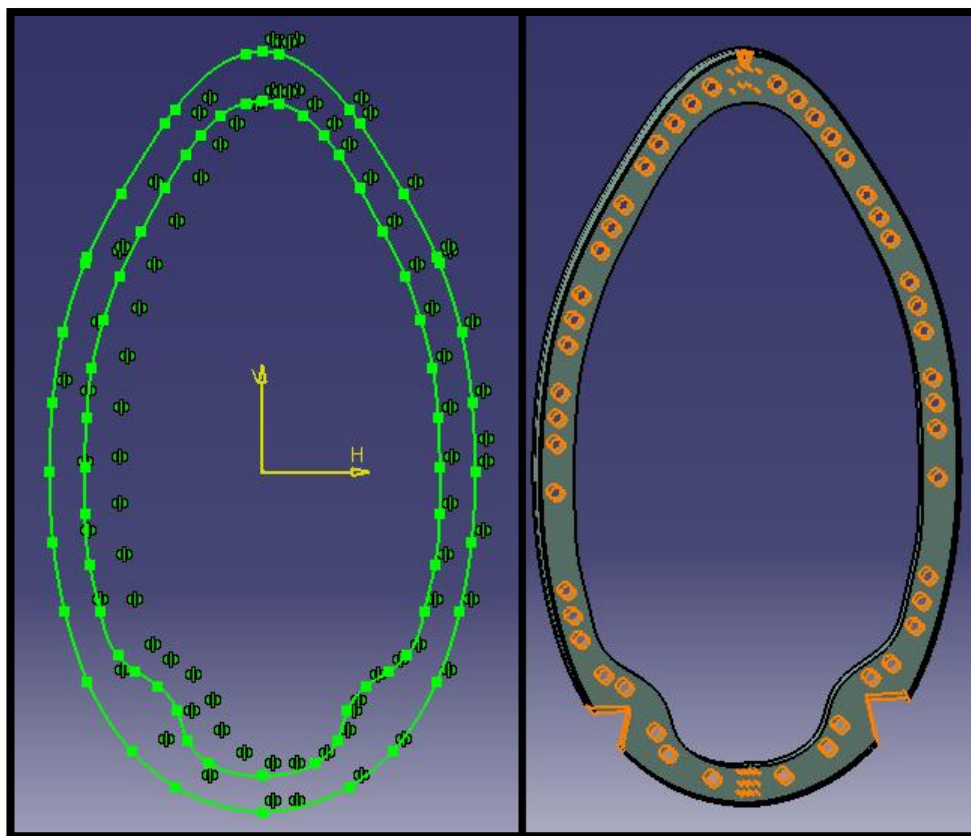


Figura 5-171. Sección 16: Sketch y pieza final con vaciado remarcado

5.1.12.2 Refuerzo superior 16

Dos operaciones de extrusión con espesor 1 y 3 mm respectivamente más vaciado con agujeros circulares de diámetros 3.5 mm para la sujeción al marco.

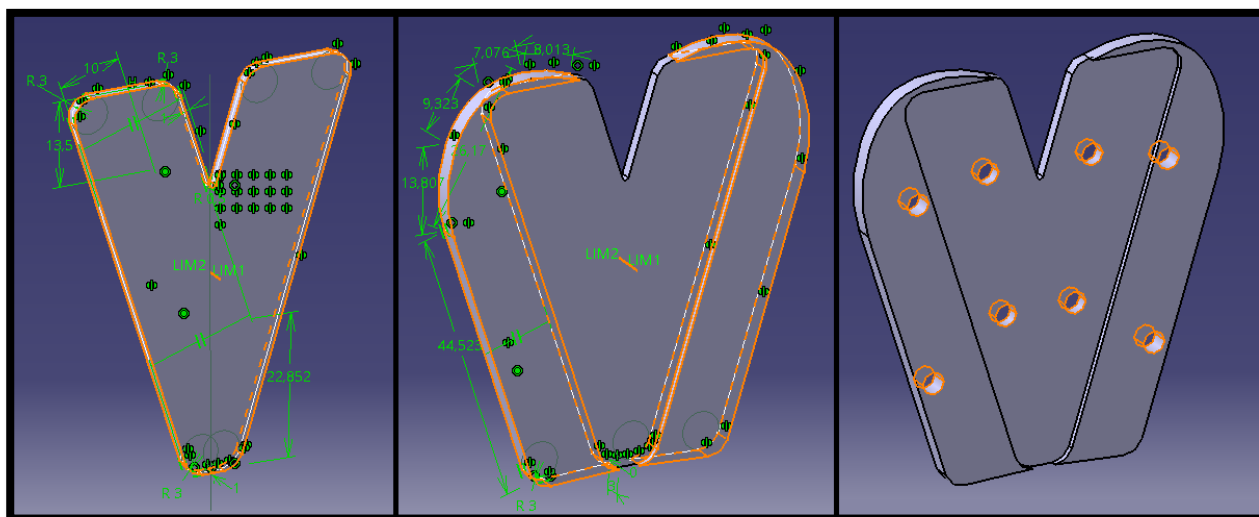


Figura 5-172. Refuerzo superior 16: Secuencia de operaciones

5.1.12.3 Refuerzo inferior 16

De espesor 1 mm se realiza con solo dos operaciones: una de extrusión (*Pad*) y otra de vaciado (*Pocket*).

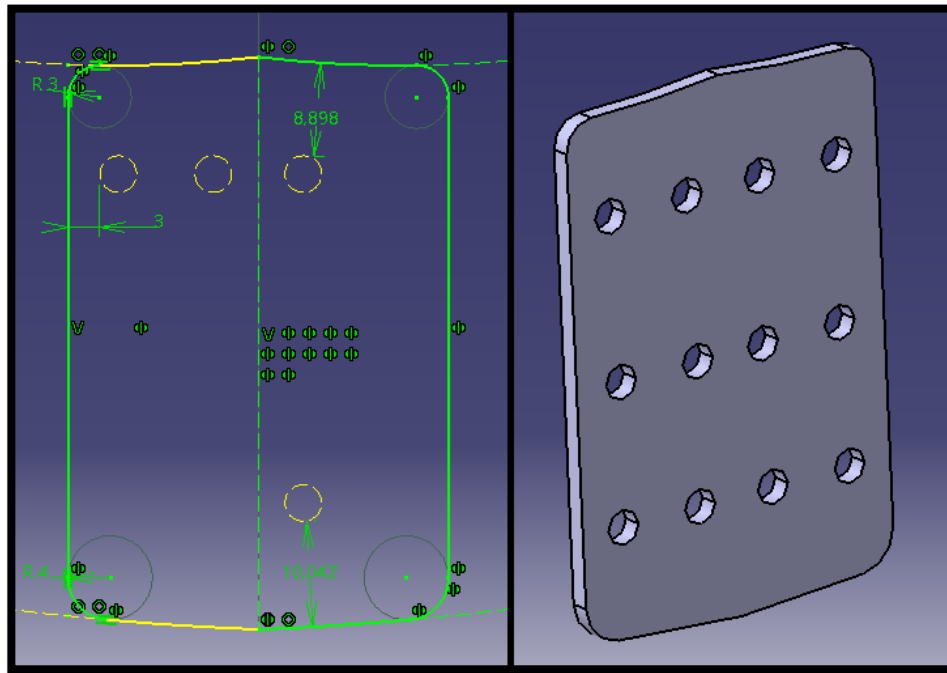


Figura 5-173. Refuerzo inferior 16: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.13 Costilla 17

De nuevo, debemos prestar especial atención a la configuración que siguen los taladros, los cuales no son iguales a ambos lados del plano yz. Con respecto al resto de la costilla la dinámica seguida para su realización es similar a las anteriores.

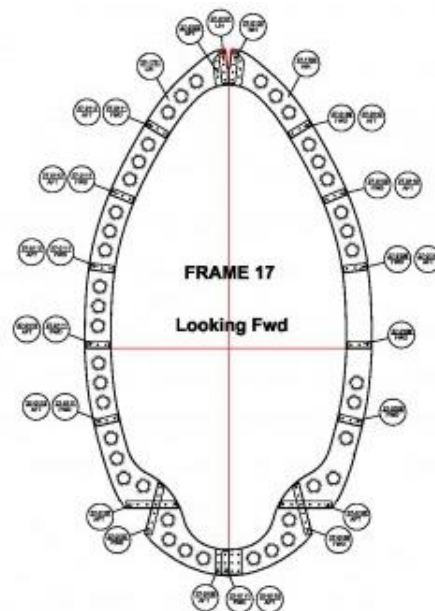


Figura 5-174. Costilla 17: plano

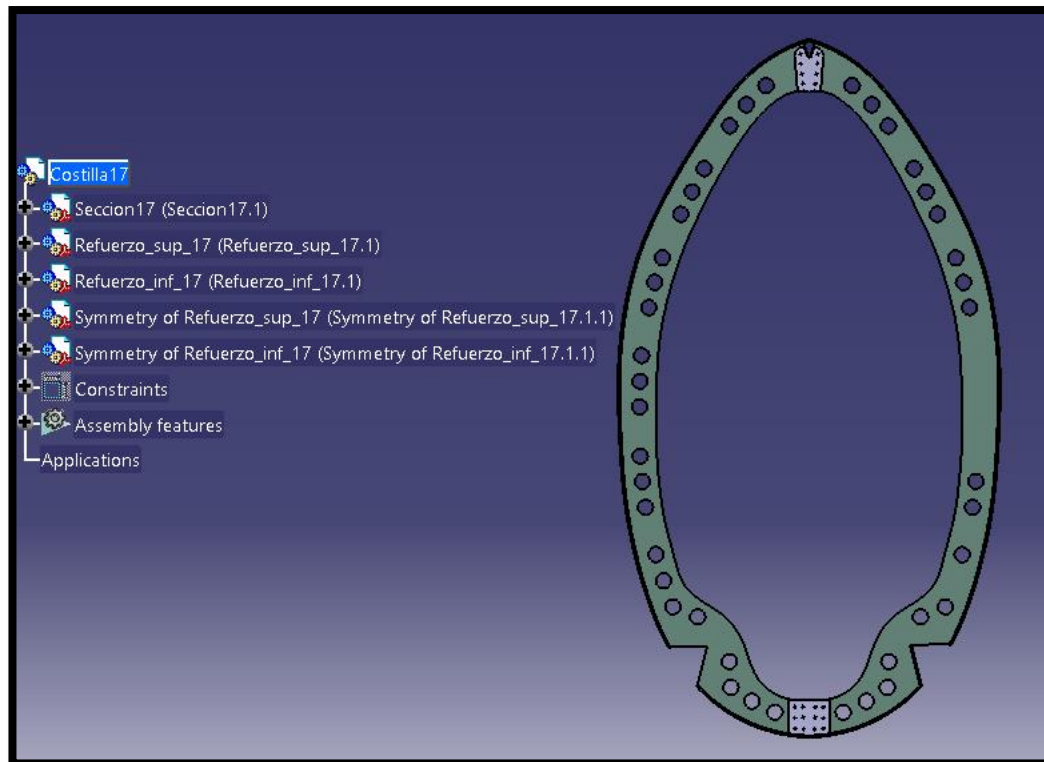


Figura 5-175. Costilla 17 en nuestro modelo

5.1.13.1 Sección 17

Como hemos dicho anteriormente, prestando especial atención a la operación de vaciado, por el resto el modelado de la sección 17 es igual a los que hemos ido analizando. Tres operaciones básicas definen esta pieza: *Pad* (espesor 27 mm), *Rib* (perfil rectangular y curva guía iguales a los casos anteriores) y *Pocket*.

Las circunferencias más grandes son de diámetro 22.5 mm, mientras que las más pequeñas 3.5 mm.

5.1.13.2 Refuerzo superior 17

El refuerzo en cuestión tiene un grosor de 1 mm que damos mediante la operación *Pad* y taladros para remachado de 3.5 mm de diámetro mediante la orden *Pocket*.

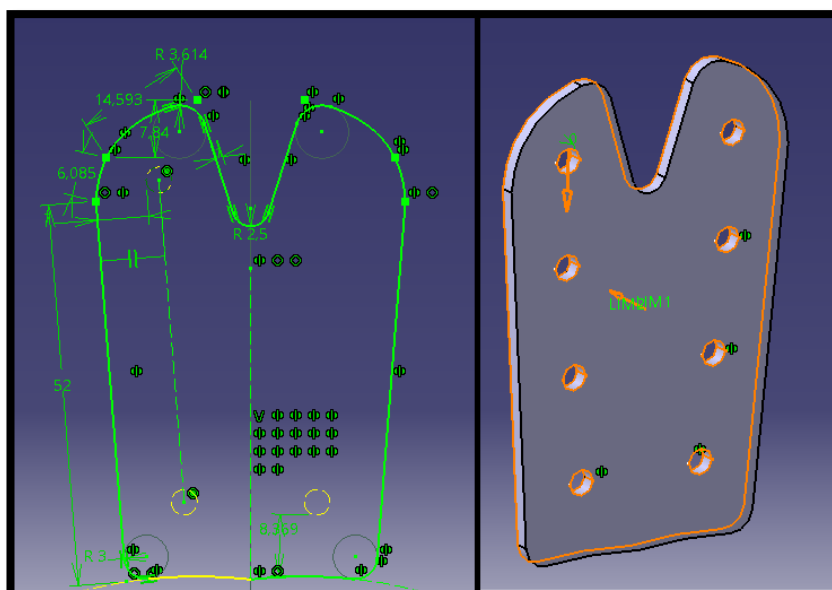


Figura 5-176. Refuerzo superior 17: Sketch y pieza final tras extrusión (marcada) y vaciado

5.1.13.3 Refuerzo inferior 17

Chapa de 1 mm de espesor y taladros para remachado de 3.5 mm de diámetro.

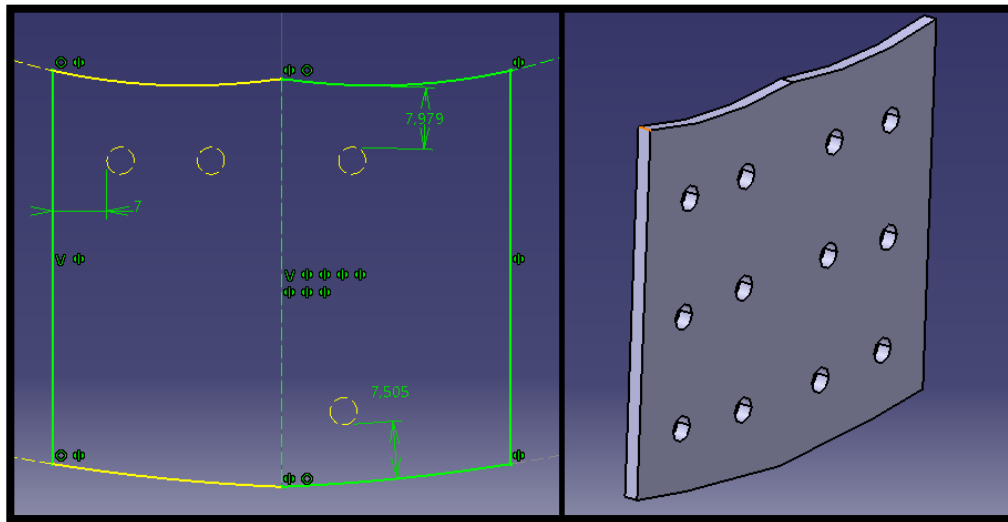


Figura 5-177: Refuerzo inferior 17: Sketch y pieza final tras extrusión y vaciado

5.1.14 Costilla 18

Se trata de una costilla casi en su totalidad simétrica, a excepción de un taladro que se encuentra en la parte izquierda del marco y no en la derecha. Por tanto, una vez apreciada esta leve diferencia, el modelado de esta costilla no será muy tedioso ni se diferenciará mucho con respecto a la dinámica seguida en el resto de costillas.

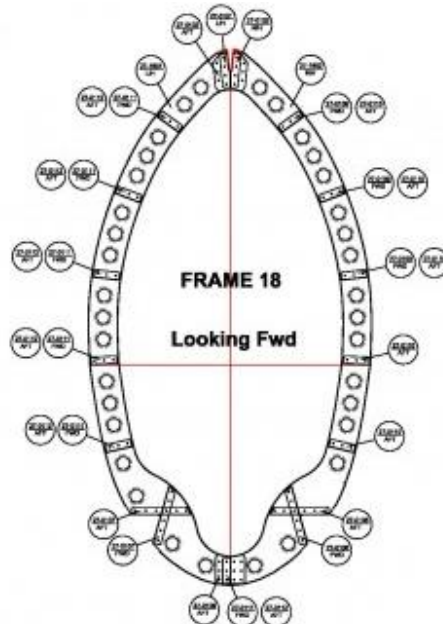


Figura 5-178. Costilla 18: plano

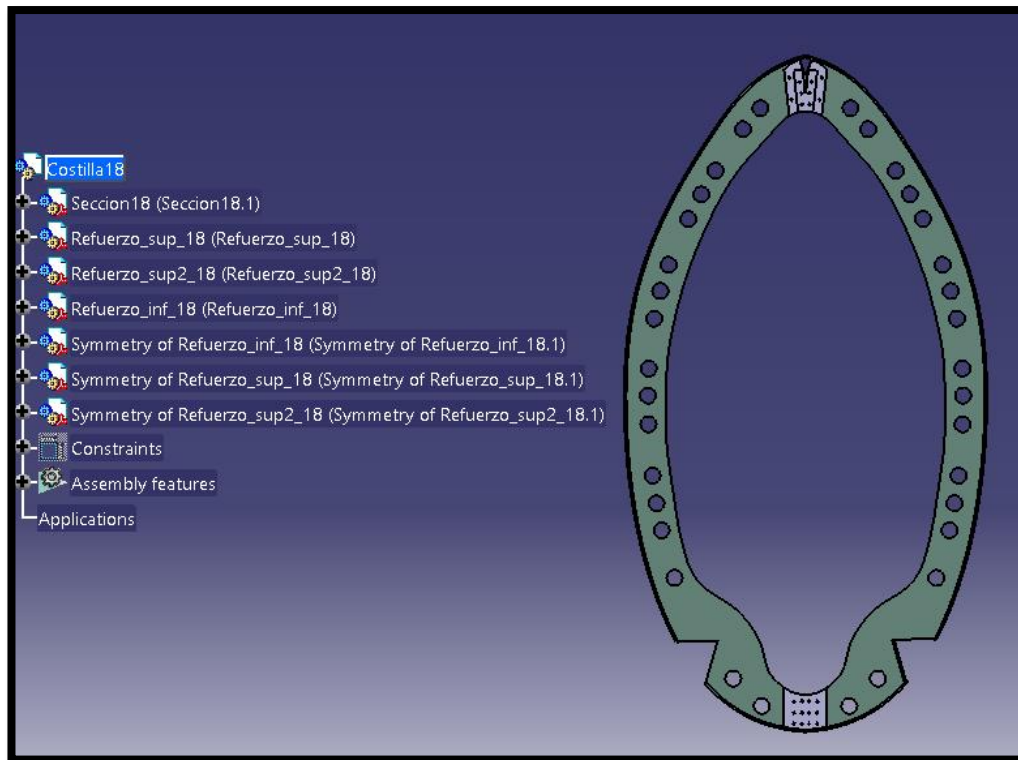


Figura 5-179. Costilla 18 en nuestro modelo

5.1.14.1 Sección 18

El modelado de la sección 18 vuelve a ser igual a los anteriores, con la secuencia: *Pad* (espesor 27 mm), *Rib* (perfil rectangular y curva guía iguales a los casos anteriores) y *Pocket*.

Las circunferencias más grandes son de diámetro 22 mm, mientras que las más correspondientes a los remaches de 3.5 mm.

5.1.14.2 Refuerzo superior 18

En este caso hemos separado el refuerzo superior en dos partes diferenciadas. El grosor de la primera de ellas es de 1 mm, mientras que la segunda es 1.5 mm. En ambos casos los agujeros circulares son de diámetro 3.5 mm.

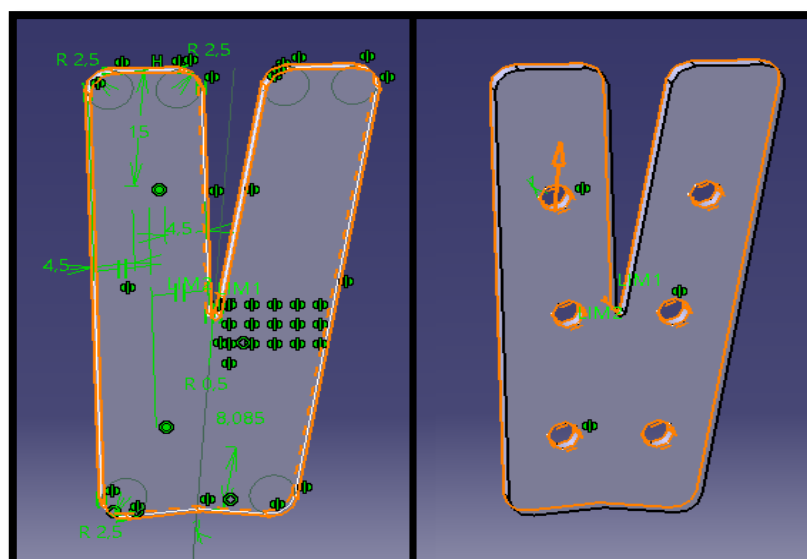


Figura 5-180. Pieza 1 refuerzo superior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket)

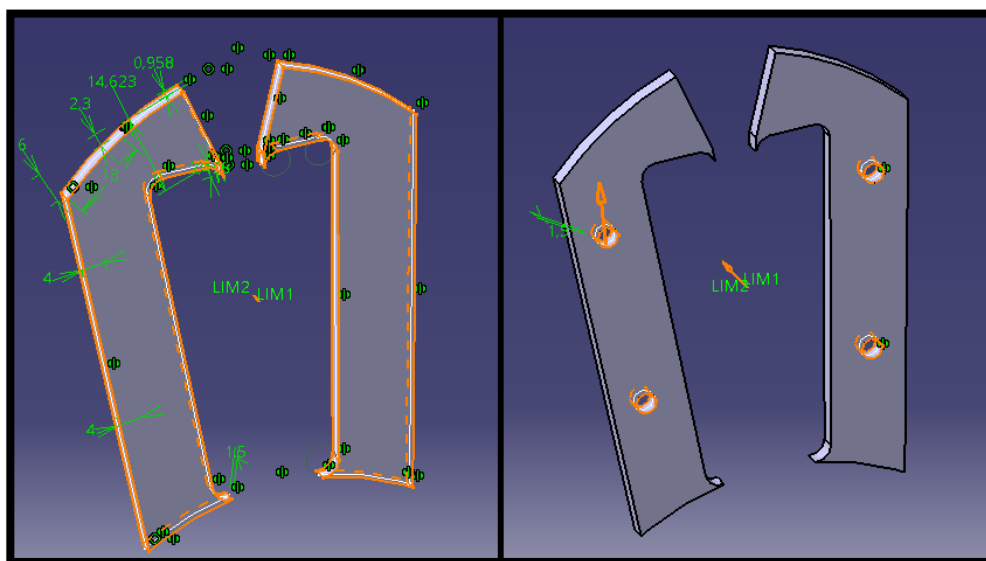


Figura 5-181. Pieza 2 refuerzo superior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket)

5.1.14.3 Refuerzo inferior 18

Chapa de 1 mm de espesor y taladros de diámetro 3.5 mm para la sujeción por remaches.

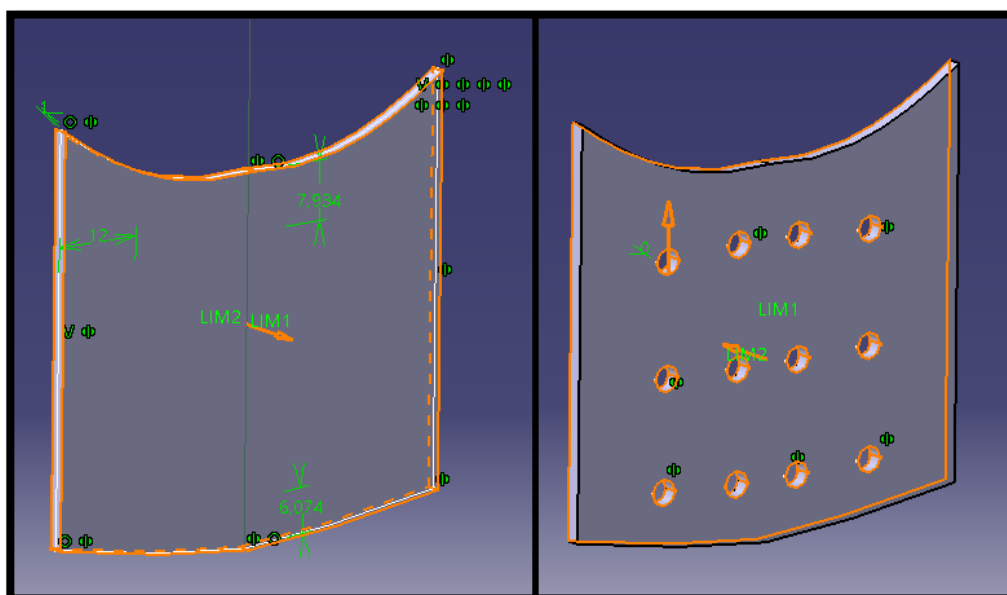


Figura 5-182. Refuerzo inferior 18: Secuencia de modelado (Pad y Pocket)

5.1.15 Costilla 18a

Llegamos a una costilla particular por su forma. En este caso el marco se trata de una superficie más pequeña que apenas ocupa la mitad superior de la sección exterior. No obstante, para su sujeción al revestimiento nosotros añadiremos la habitual superficie externa que venimos modelando en todas las costillas anteriores (como podemos ver en una de las figuras que se muestran a continuación).

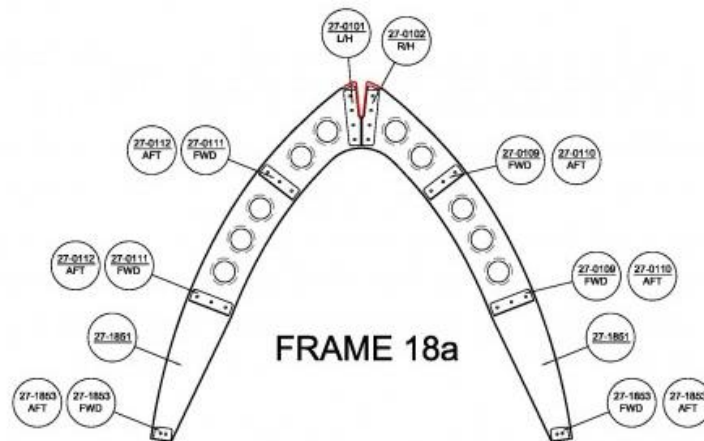


Figura 5-183. Costilla 18a: plano

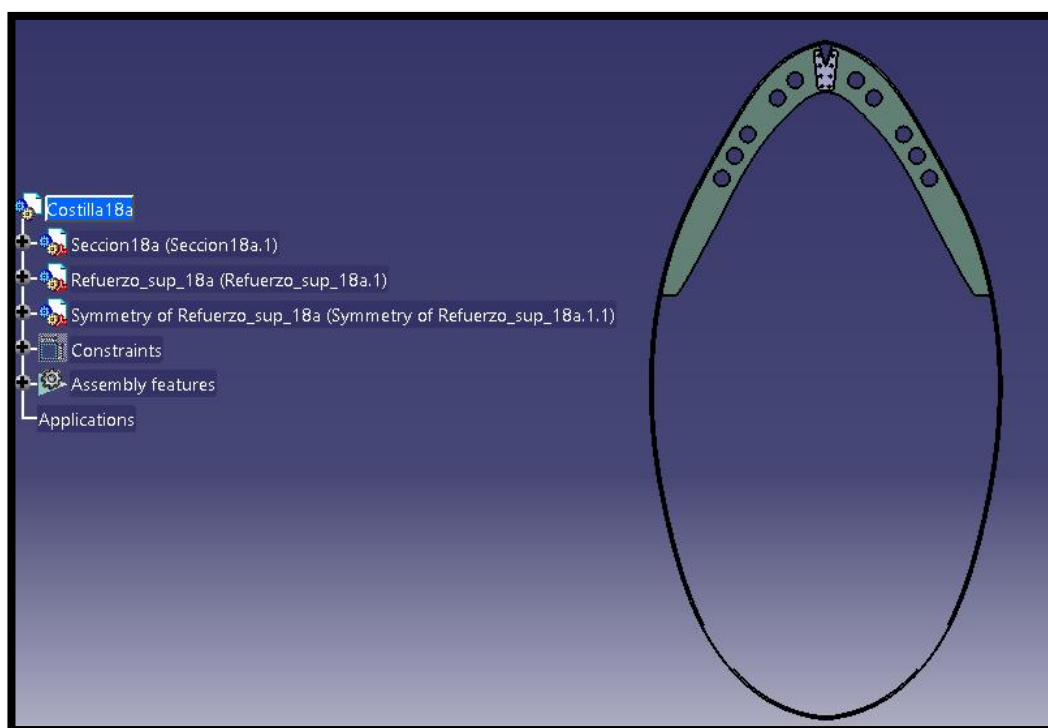


Figura 5-184. Costilla 18a en nuestro modelo

5.1.15.1 Sección 18a

Pese a su forma poco habitual, el proceso que seguimos para modelarla es el mismo. Nos basamos en la proyección de puntos cuyas coordenadas adquirimos a través de GeoGebra. La secuencia seguida será la habitual: *Pad* (grosor de la pieza: 27 mm), *Rib* (con el perfil habitual de 50 x 3 mm) y *Pocket*.

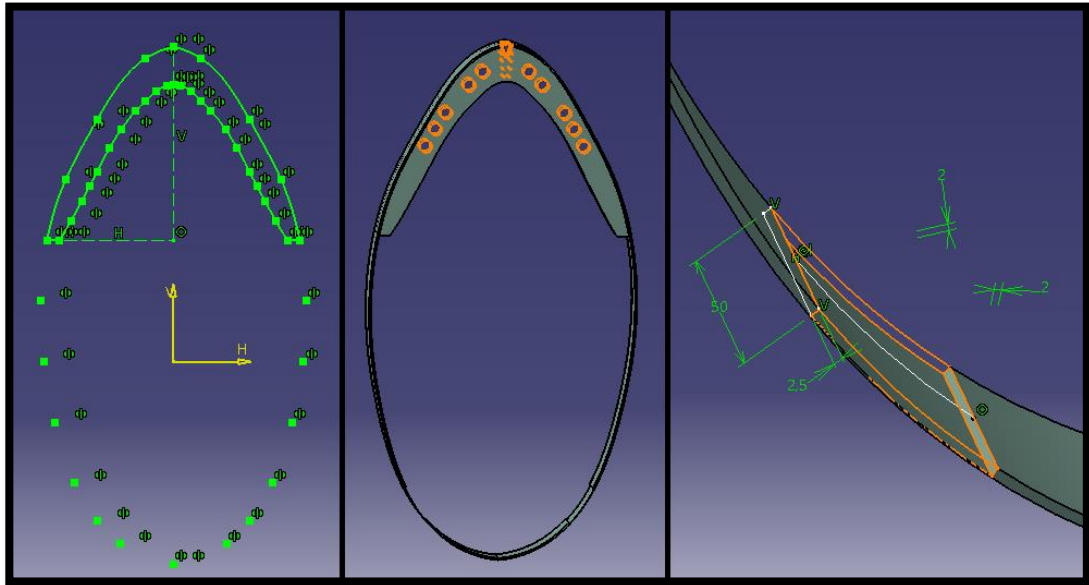


Figura 5-185. Sección 18a: Sketch (Pad), Pocket y Slot

Si nos fijamos, podemos observar cómo, pese a no extenderse el marco por la parte inferior, se vacía levemente el contorno realizado por *Rib* mediante la operación *Slot*. Esto se hace para evitar la colisión de dicha superficie con el larguero inferior principal. Más allá de eso, las circunferencias mayores tienen diámetro 20.5 mm por los 3.5 mm de las pequeñas.

5.1.15.2 Refuerzo superior 18a

Chapa de 1 mm de grosor con agujeros circulares de diámetro 3.5 mm. Realizada en dos operaciones.

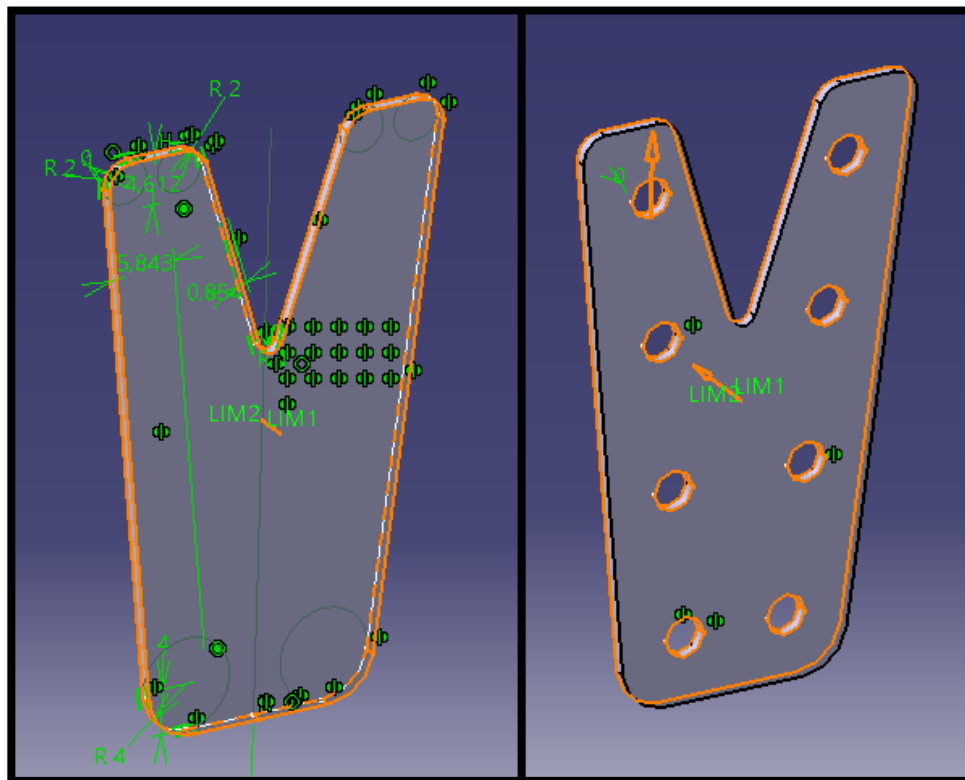


Figura 5-186. Refuerzo superior 18a: Secuencia de operaciones (Pad y Pocket)

5.1.16 Costilla 19 canted

Llegamos finalmente a la última sección del fuselaje, que como veremos posteriormente se encuentra inclinada y actúa como separación con la cola. Particularmente destacadas son las sujeciones para los diferentes largueros que llegan a esta costilla y que veremos en detalle en el proceso de modelado de cada una.

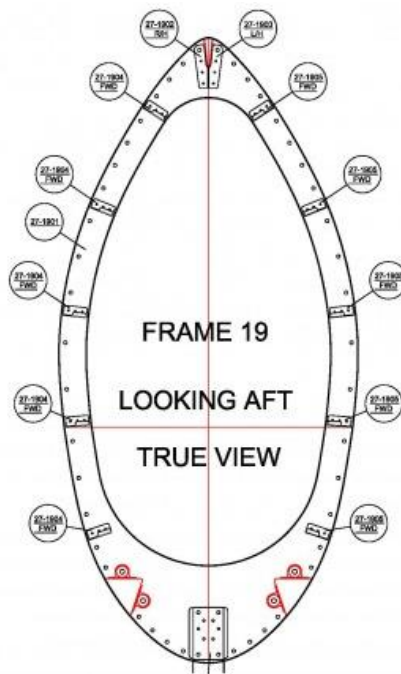


Figura 5-187. Costilla 19c: plano

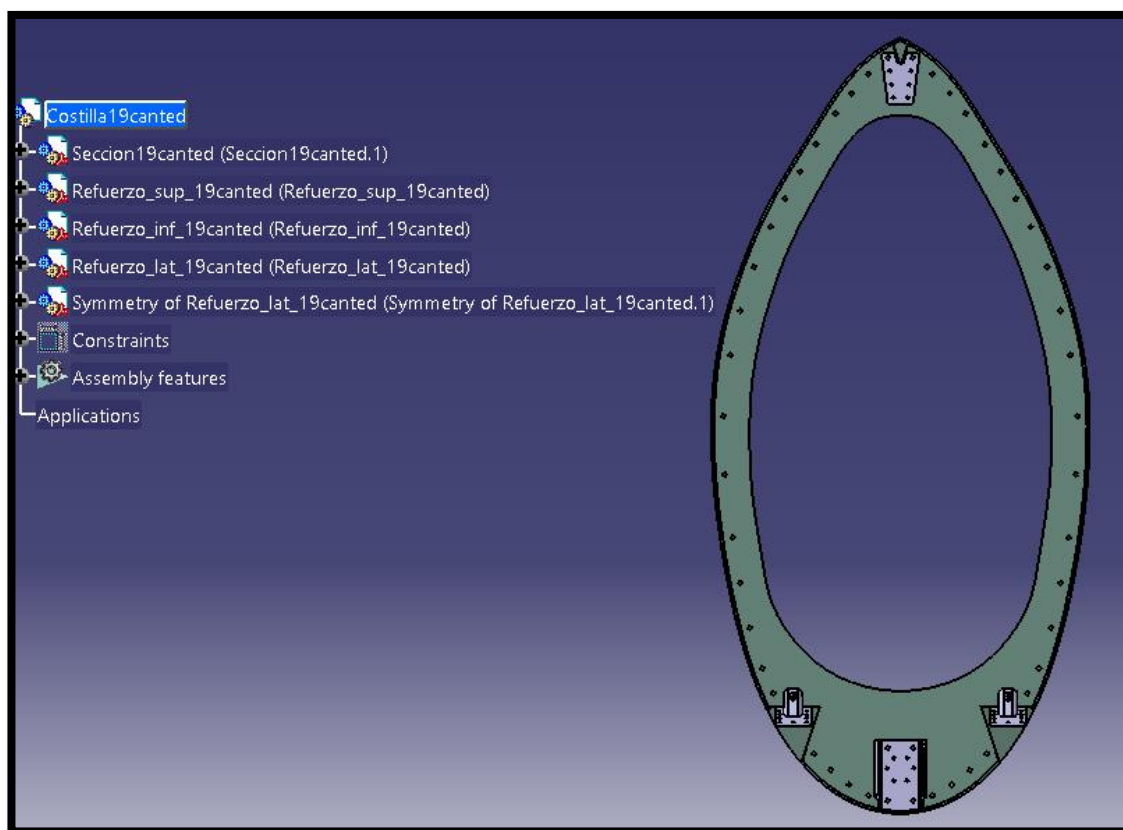


Figura 5-188. Costilla 19c en nuestro modelo

5.1.16.1 Sección 19c

En este caso el modelado de la sección cuenta con mayor número de detalles por lo que tendremos que verlo en mayor detalle. La secuencia de operaciones es la que sigue:

1. *Pad*: le damos un espesor de 27 mm al perfil modelado por *Spline* que une los puntos proyectados.
2. *Rib*: Operación con iguales características que en las demás costillas (perfil rectangular 50 x 3 mm).
3. *Pocket*: Primero realizamos los agujeros estructurales (pasantes de diámetro 4.88 mm) que se encuentran en la superficie del marco de la costilla.

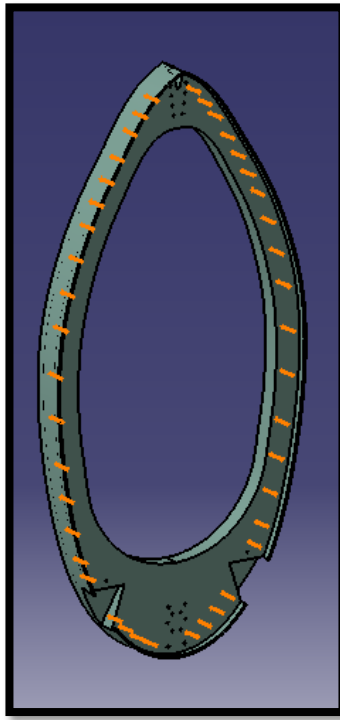


Figura 5-189. Sección 19c: Primera operación de vaciado (Pocket.1)

4. *Pocket*: Ahora realizamos el vaciado relativo a la cavidad donde se depositan los largueros inferiores principales. Para ello dibujamos el perfil correspondiente en un plano normal a la guía que siguen los largueros, por el punto de corte con el plano zx.

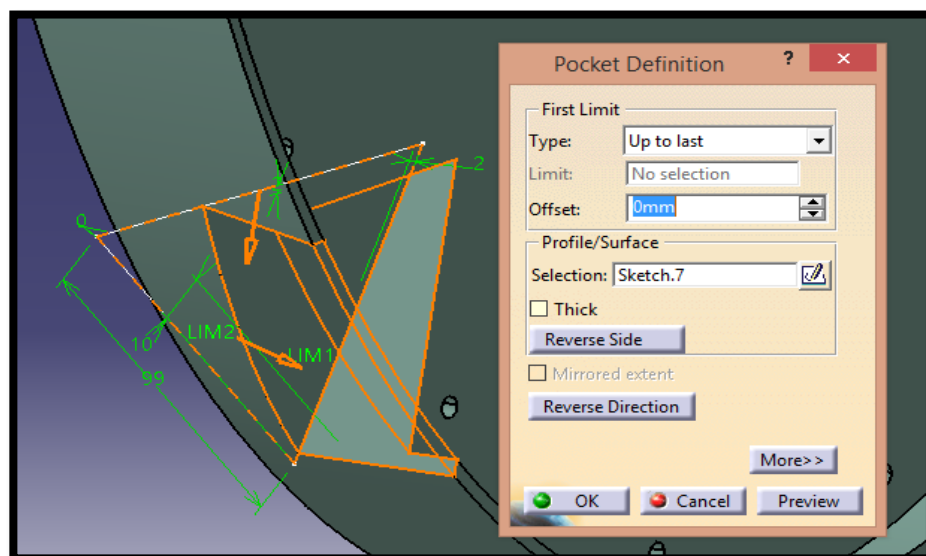


Figura 5-190. Sección 19c: Segunda operación de vaciado (Pocket.2)

5. *Pocket*: Realizamos ahora los taladros donde se sitúan los remaches de sujeción de los refuerzos, en la cara anterior de la costilla y con profundidad 10 mm. Las circunferencias mayores tienen diámetro 4.88 mm por los 3.5 mm de las pequeñas.

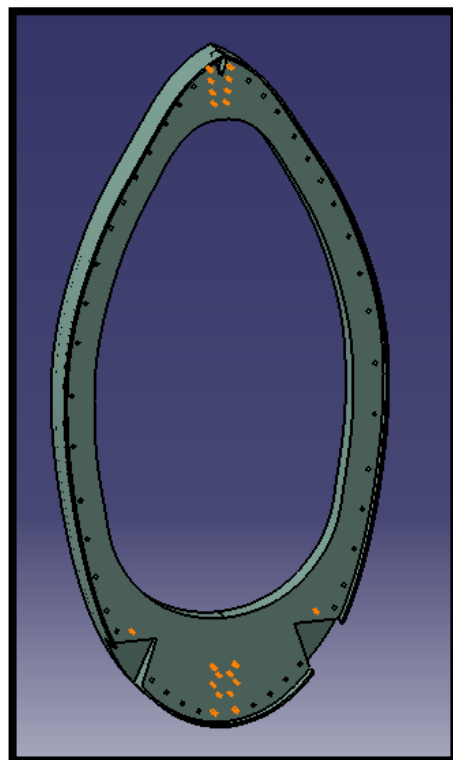


Figura 5-191. Sección 19c: Tercera operación de vaciado (Pocket.3)

6. *Pocket*: Nuevamente para el larguero superior principal la situación vuelve a ser parecida. Realizamos el perfil en un plano normal a la guía que sigue este larguero, nuevamente por el punto de corte con el plano zx.

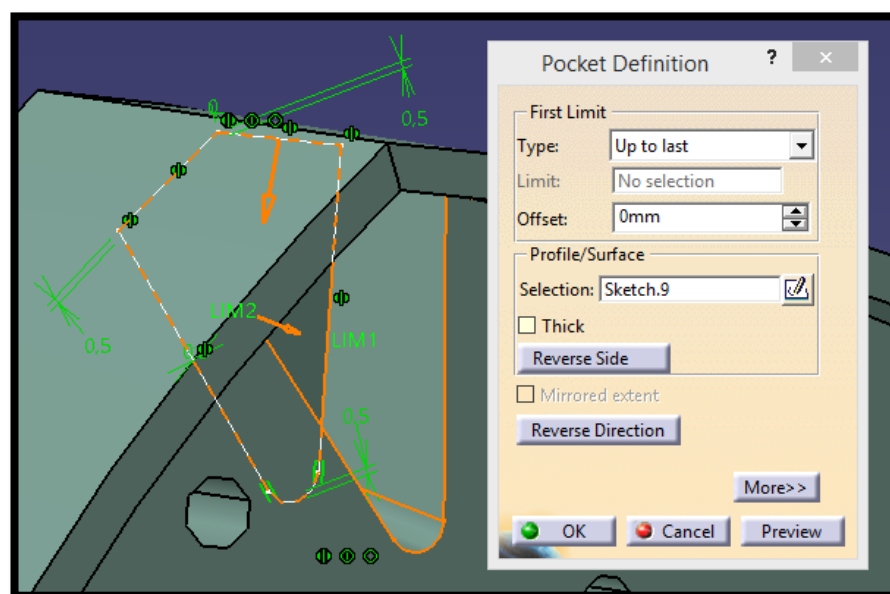


Figura 5-192. Sección 19c: Cuarto operación de vaciado (Pocket.4)

5.1.16.2 Refuerzo superior 19c

Compuesto básicamente de 3 operaciones (dos *Pad* y un *Pocket*) más las simetrías correspondientes y el redondeo posterior de algunas aristas.

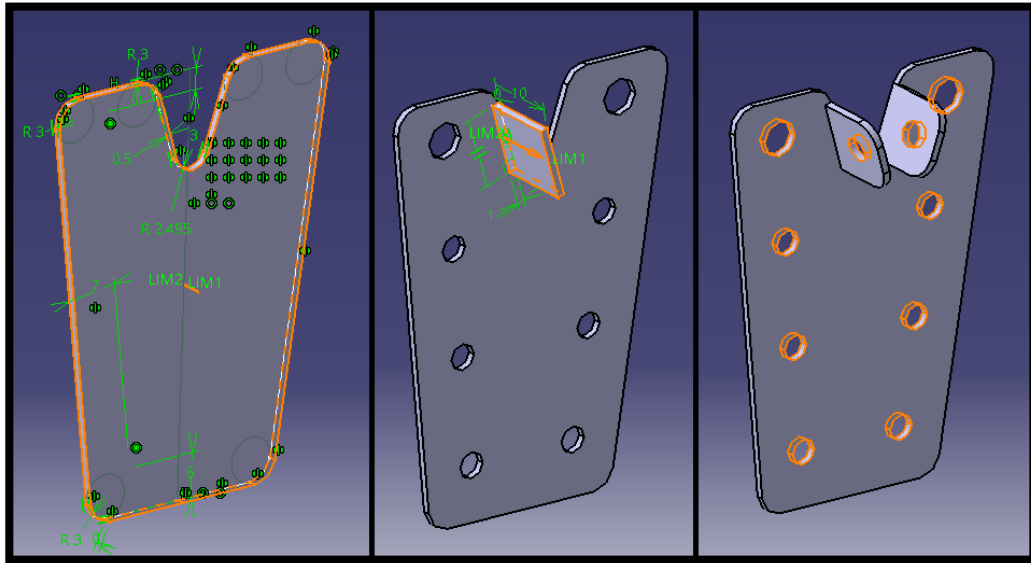


Figura 5-193. Refuerzo superior 19c: Secuencia de operaciones

5.1.16.3 Refuerzo inferior 19c

Se trata de un refuerzo más complejo y para su modelado contamos principalmente con imágenes, aparte del plano que hemos visto anteriormente de la costilla. Mostramos a continuación la secuencia seguida para su recreación y posteriormente la comentamos.

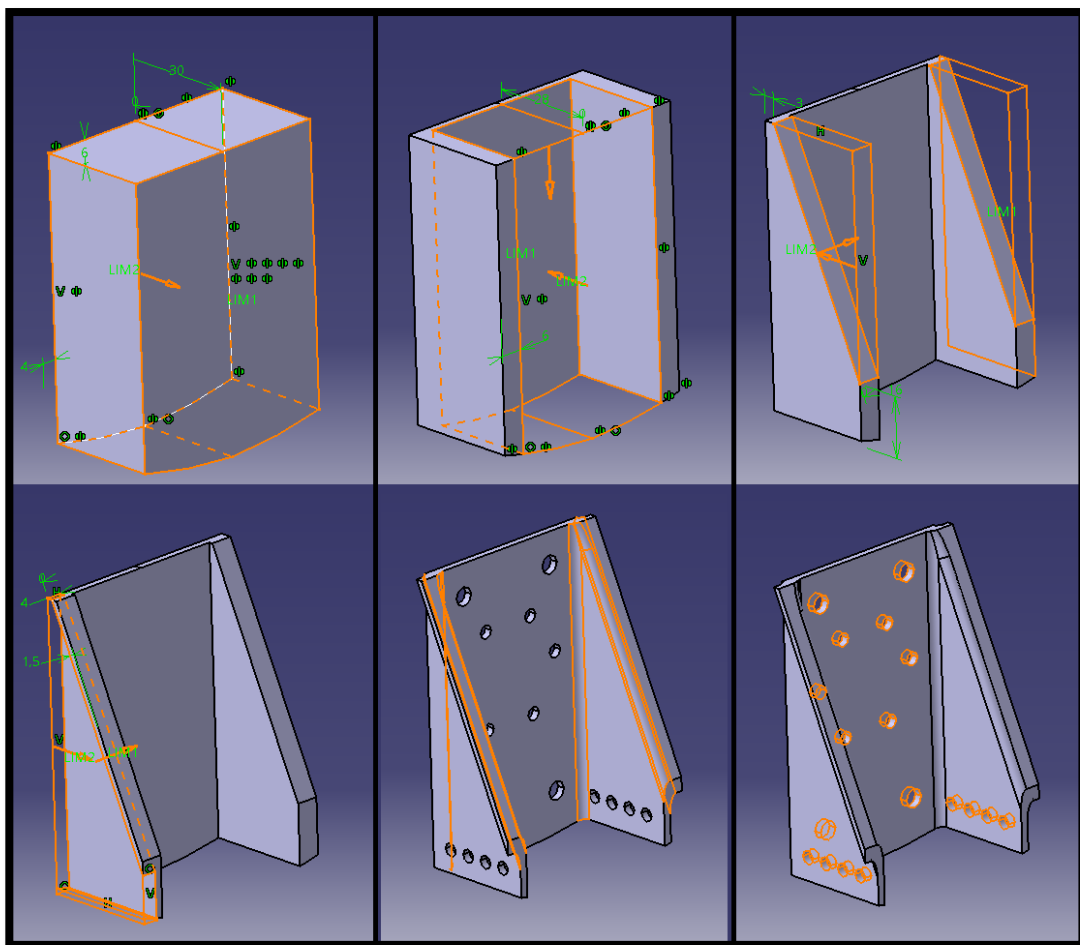


Figura 5-194. Refuerzo inferior 19c: Secuencia de operaciones

Obtenemos como resultados superficies con un grosor de 2 mm. Las circunferencias correspondientes a los agujeros tienen diámetro 3.5 mm, o bien, 4.88 mm.

5.1.16.4 Sujeción larguero inferior principal 19c

Para el modelado de esta pieza también nos basamos en fotografías de esta parte del fuselaje. La secuencia que seguiremos son dos operaciones *Pad*, seguidas de *Hole* y *Pocket*. Se especifica cada una de ellas en la figura siguiente.

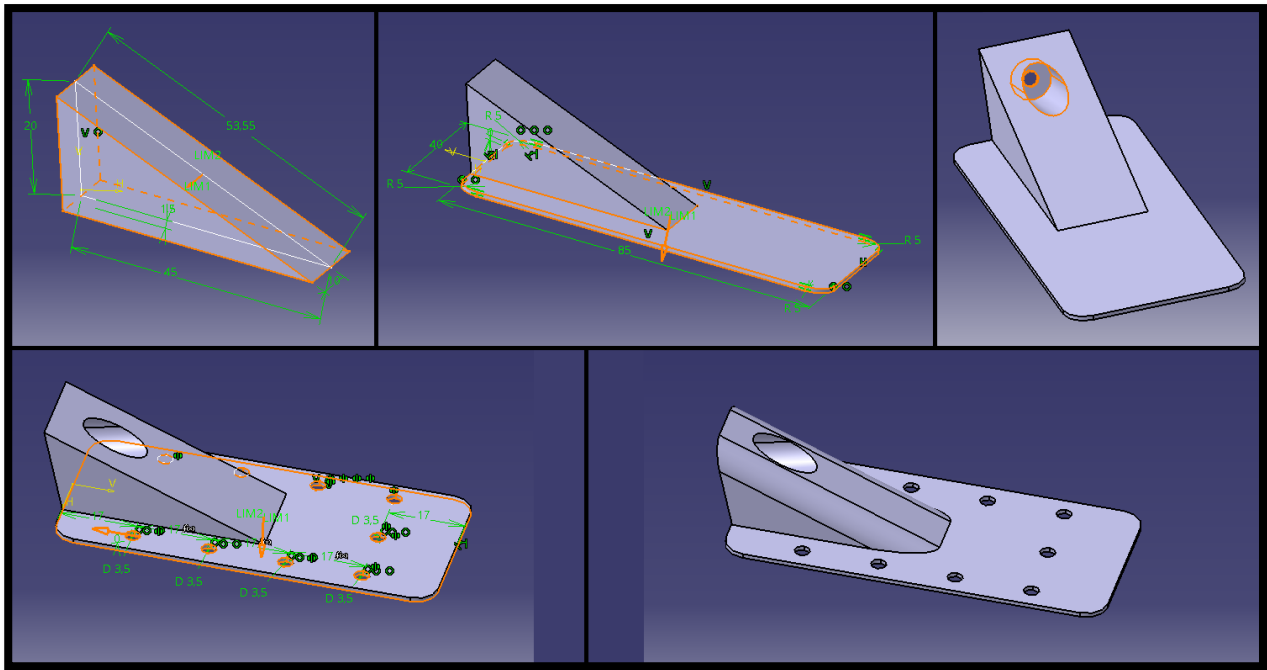


Figura 5-195. Sujeción larguero inferior principal 19c: Secuencia de operaciones

Las características de la operación *Hole* son las siguientes: desde la parte posterior de la pieza, taladro de diámetro 3.5 mm y profundidad 1 mm, de ahí en adelante taladrado de diámetro 9 mm. El redondeo (*EdegeFillet*) es de radio 5 mm.

5.1.17 Larguero inferior principal 1

El siguiente paso será situar correctamente todas las costillas en el entorno del conjunto fuselaje, para lo que fijamos sus planos coordenados. Los planos xy e yz se encuentran a *Offset* 0 mm, mientras que el plano zx debe cumplir en cada caso la distancia con su antecesora y predecesora.

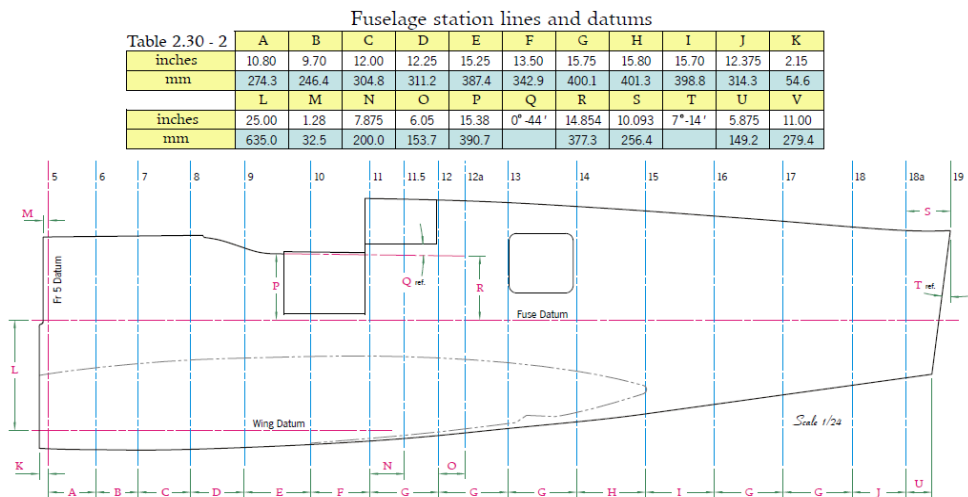


Figura 5-196. Posición sección central de las costillas del fuselaje según los planos

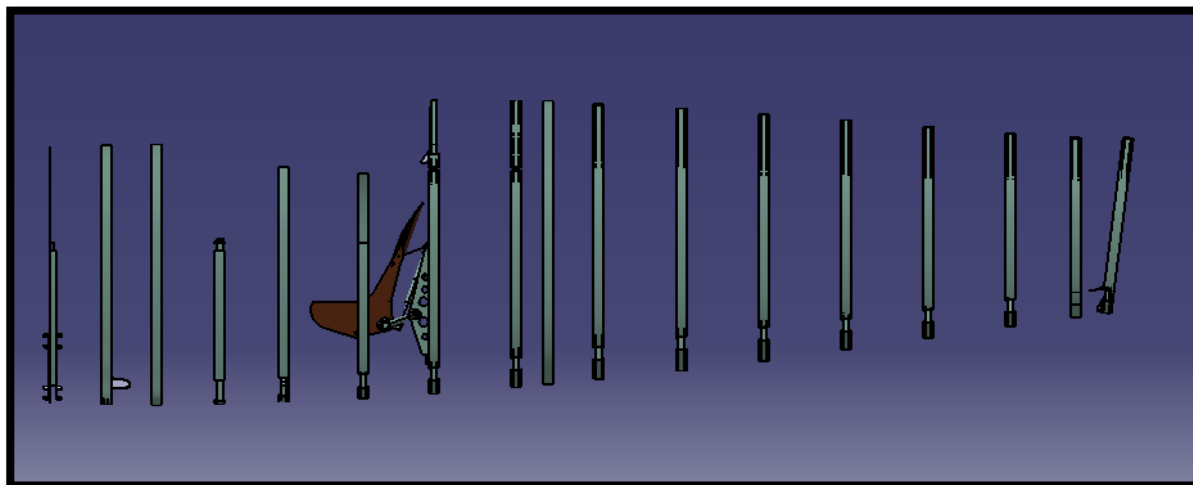


Figura 5-197. Costillas colocadas en el espacio de acuerdo a los datos que tenemos

Una vez hecho esto, procedemos a realizar los largueros. Teniendo en cuenta los agujeros que hemos hecho para colocar los largueros, nos centramos en las costillas 10 y 19c, puesto que es el recorrido que realiza este primer larguero inferior. El primer paso es realizar una serie de guías rectas para que el resultado obtenido se aproxime a esta forma. Obtenemos 3 líneas por la unión de los 3 puntos característicos de cada agujero (el de la costilla 10 y el de la costilla 19c).

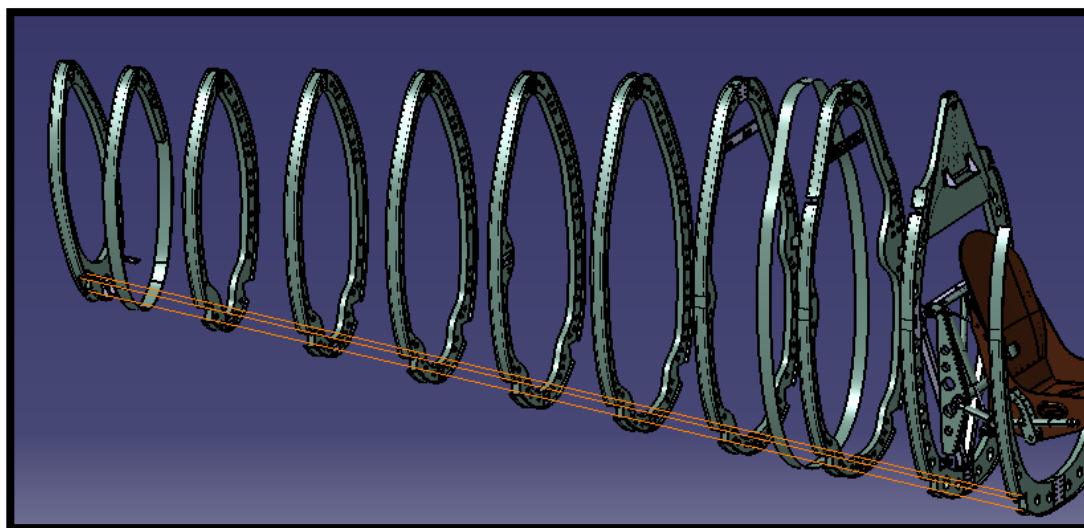


Figura 5-198. Guías larguero inferior principal 1

El larguero lo obtenemos como resultado de una operación *Multi-sections Solid* más el posterior vaciado por *Shell*. Por tanto, iremos realizando perfiles en el plano medio de cada costilla (excepto la 18a) siguiendo las siguientes pautas: Obtenemos los puntos de corte de las 3 guías con el plano, unimos dichos puntos dos a dos, medimos las distancias y reproducimos estas medidas en líneas paralelas que vayan desde el contorno exterior.

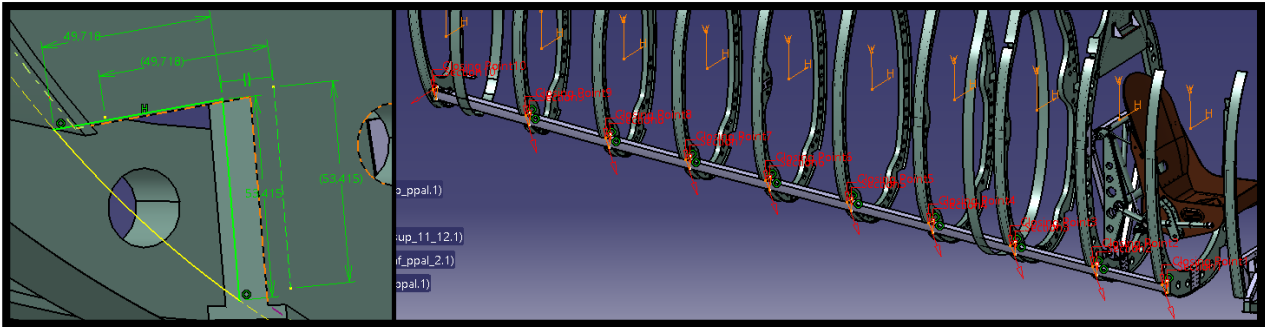


Figura 5-199. Larguero inferior principal 1: dinámica seguida en secciones y operación Multi-sections Solid
Finalmente realizamos el vaciado por *Shell* dejando un espesor de 2 mm y eliminando la cara que estaría en contacto con el revestimiento.

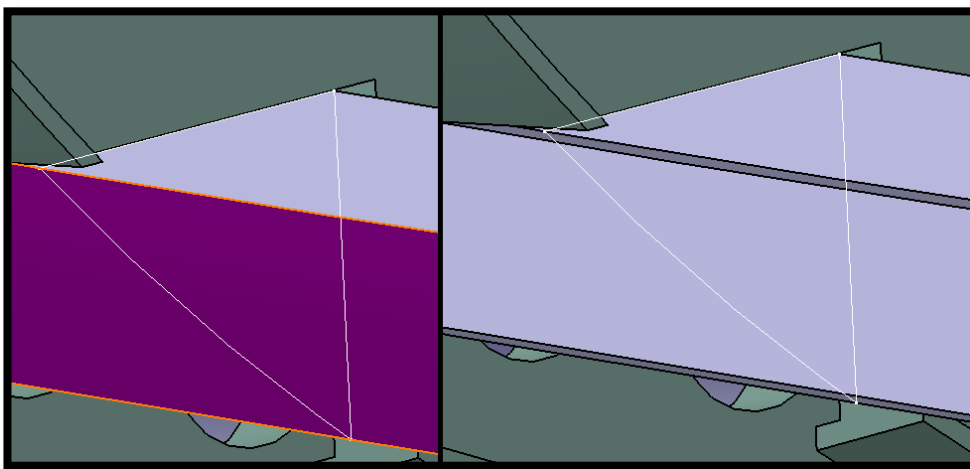


Figura 5-200. Larguero inferior principal 1: Operación Shell y resultado

5.1.18 Larguero inferior principal 2

Se extiende desde la costilla 10 hasta la costilla 5. En este caso no trabajamos con guías, sino que haremos que las secciones (en el plano medio de cada costilla) que definen el larguero tengan un margen de 2 mm con respecto al agujero. Como caso especial tenemos la sección correspondiente a la costilla 5 que se encuentra en el plano donde se produce el primer contacto con dicha costilla y se trata de la proyección de la sección anterior.

De igual manera a su predecesor el modelado consiste en la sucesión de dos operaciones: *Multi-sections Solid* y *Shell* (grosor 2 mm).

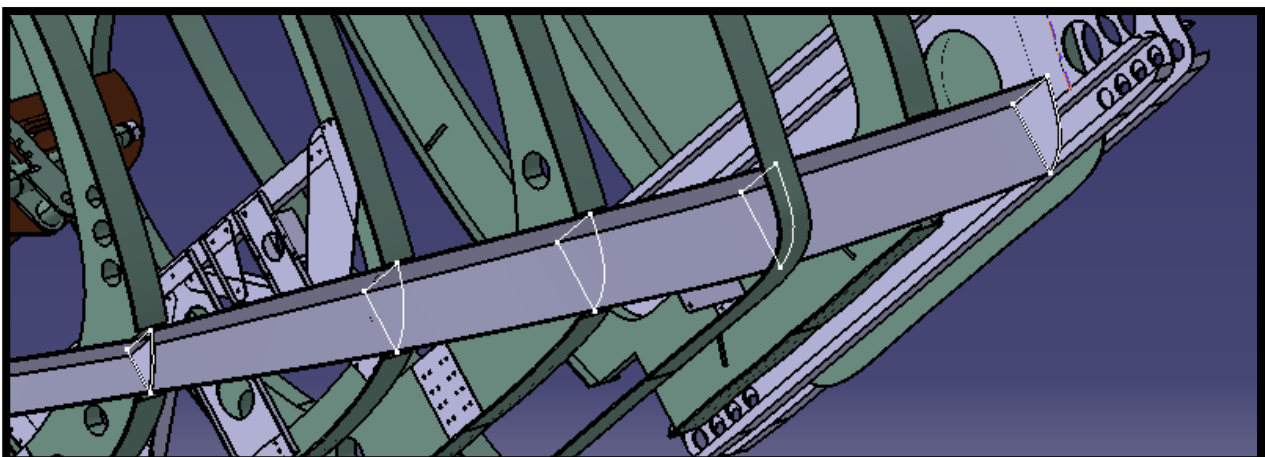


Figura 5-201. Larguero inferior principal 2

5.1.19 Larguero superior principal

En este caso, las secciones son todas iguales con la única diferencia en la parte superior que se adaptará al contorno exterior de cada costilla. Debemos diferenciar entre dos operaciones *Multi-sections Solid*, una para el tramo entre la costilla 14 y la 18a, y otra entre 18a y 19c.

De igual manera realizamos el vaciado por *Shell*, dejando 2 mm de espesor y sin eliminar ninguna cara, y operaciones de vaciado por *Pocket* para realizar agujeros circulares de 3.5 mm de diámetro para las sujeciones con algunos refuerzos superiores de las costillas.

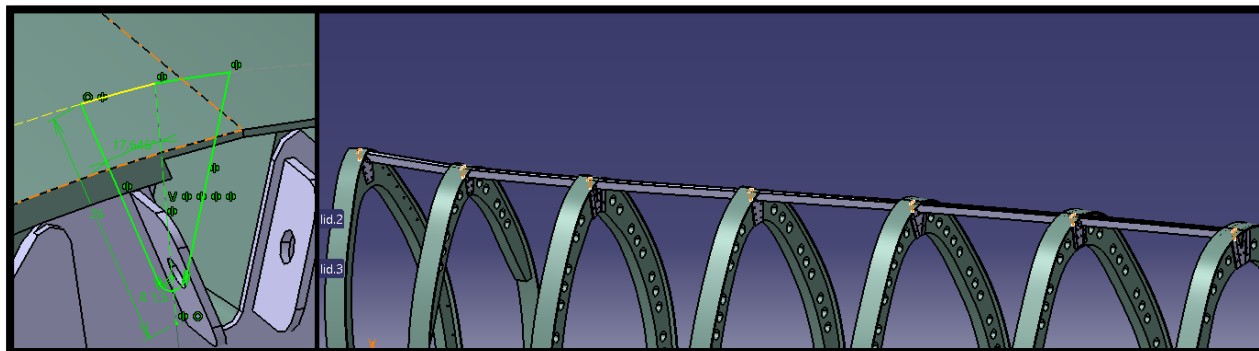


Figura 5-202. Larguero superior principal: sección característica y resultado final

5.1.20 Larguero superior 11-12

Recorre la distancia entre las costillas 11 y 12. Analizamos a continuación los dos perfiles usados para generar el sólido, situados en el plano medio de la costilla 12 y en la cara posterior de la costilla 11.

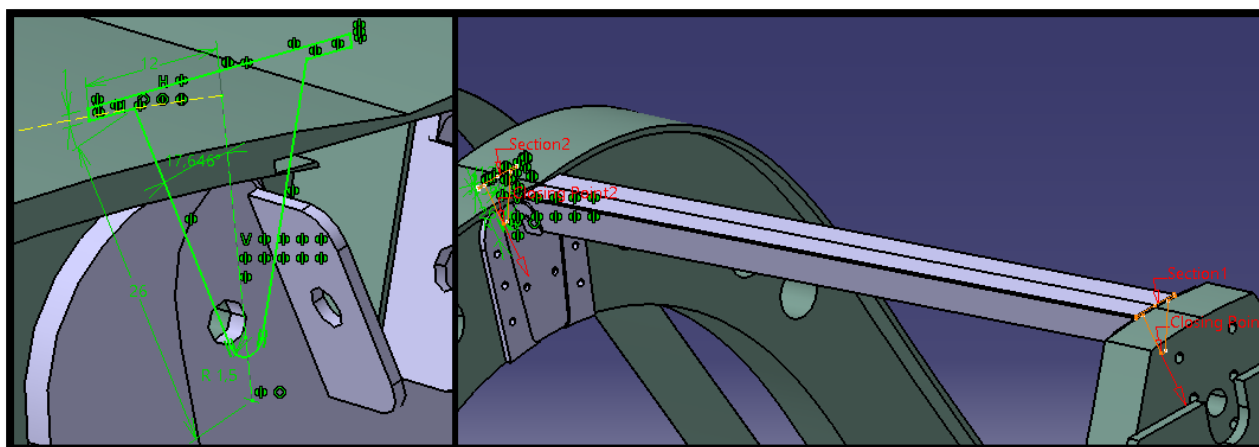


Figura 5-203. Larguero superior 11-12: sección usada y resultado de la operación Multi-sections Solid

Añadimos una placa encima de la costilla 11 por extrusión normal (*Pad*) y realizamos el vaciado, que en este caso se ejecuta de una forma particular, por *Removed Multi-sections Solid* (dejando espesor de 1 mm).

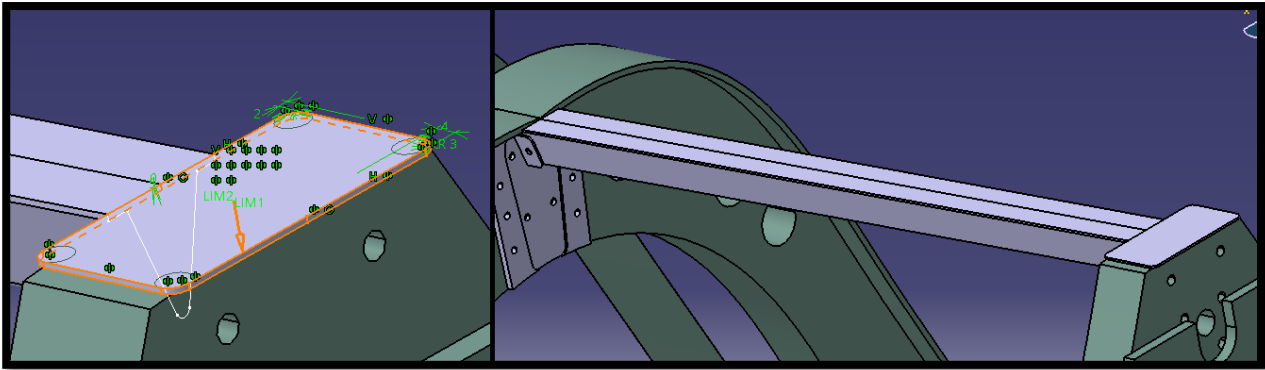


Figura 5-204. Larguero superior 11-12: operación Pad y pieza final tras vaciado interno

5.1.21 Larguero lateral principal

Se extiende desde la costilla 13 hasta la 5 y se recrea con dos operaciones: *Multi-sections Solid* y vaciado por *Shell* para dejar un grosor en sus superficies de 2 mm. Las secciones, situadas en el plano medio de cada costilla (a excepción de la costilla 5, donde se encuentra en la cara posterior), son una proyección de los agujeros realizados previamente.

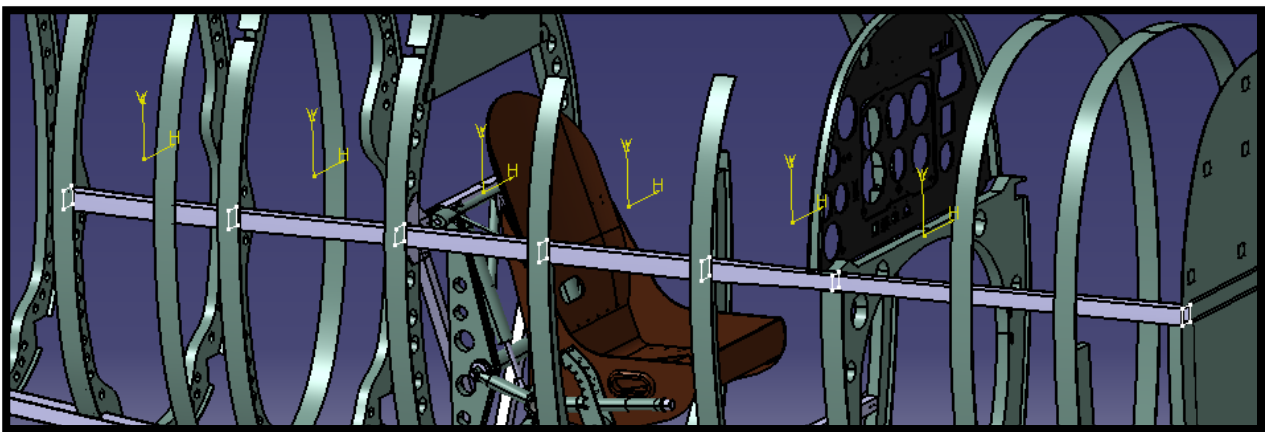


Figura 5-205. Larguero lateral principal

5.1.22 Largueros laterales

Realizados a partir de operaciones como *Multi-sections Solid* y *Rib* indistintamente, su sección varía mínimamente de un componente a otro, siendo la principal diferencia el ángulo de inclinación con respecto a los ejes coordenados. Elaboración tediosa por la multitud de operaciones que necesita para su finalización.

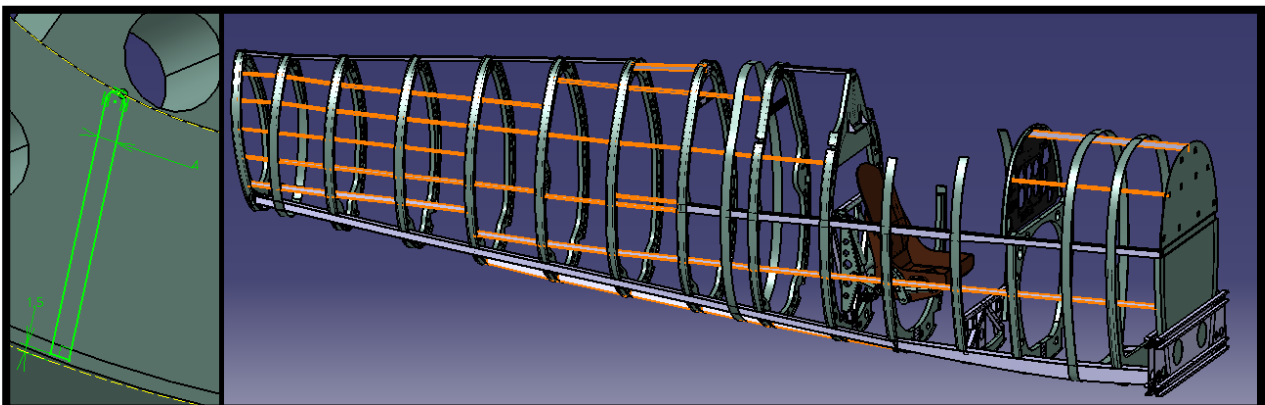


Figura 5-206. Largueros laterales: Sección característica y resultado final

5.1.23 Panel instrumentos

El panel de instrumentos es la principal vía de información del piloto, teniendo elementos tan importantes como: anemómetro, altímetro, horizonte artificial, indicador de velocidad vertical, coordinador de giro, indicadores de potencia, brújula, indicador de rumbo, radiobalizas...

Para su recreación contamos con planos detallados y acotados del panel en sí, con los huecos que albergan los diferentes instrumentos de vuelo. Por tanto, para su realización debemos seguir las pautas y medidas que se marcan en estos planos. Como de costumbre realizamos una superficie externa que sigue los puntos del contorno exterior (en este caso de la costilla 8) mediante la operación *Rib* (perfil rectangular de 50 x 3 mm).

No será objeto de nuestro proyecto el modelado de cada uno de los instrumentos de vuelo, porque se trata de una tarea que ocuparía mucho tiempo y que no influye en gran medida en lo que al modelado del avión se refiere.

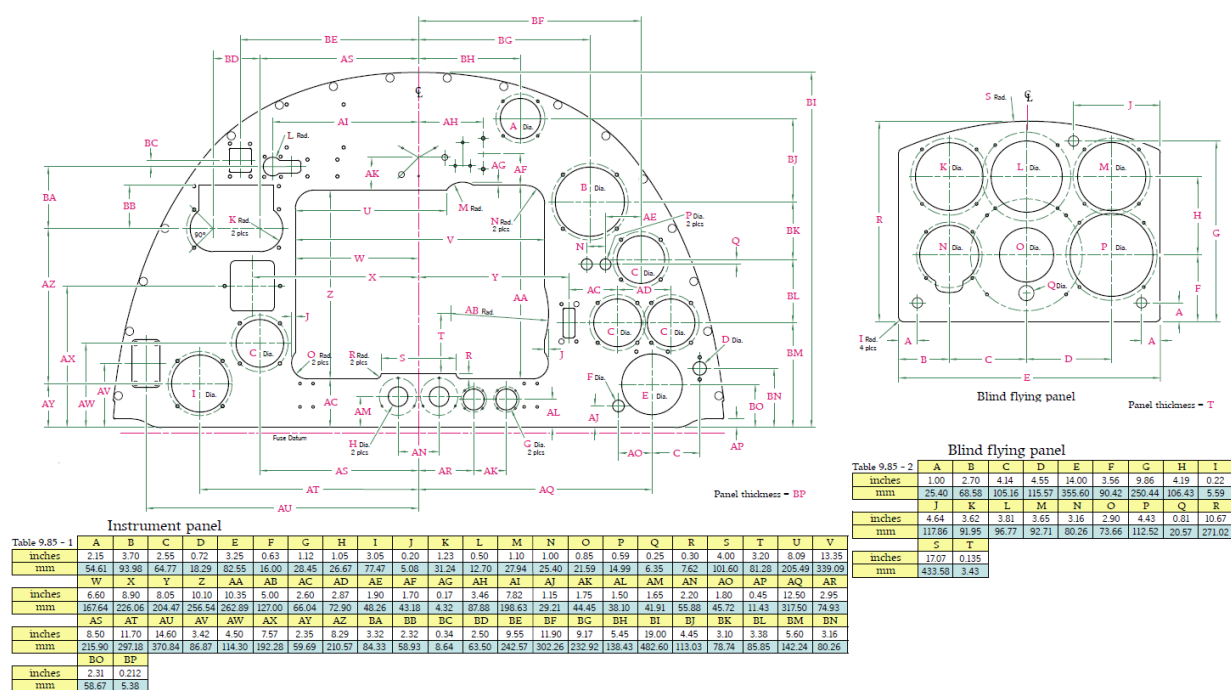


Figura 5-207. Planos panel de instrumentos

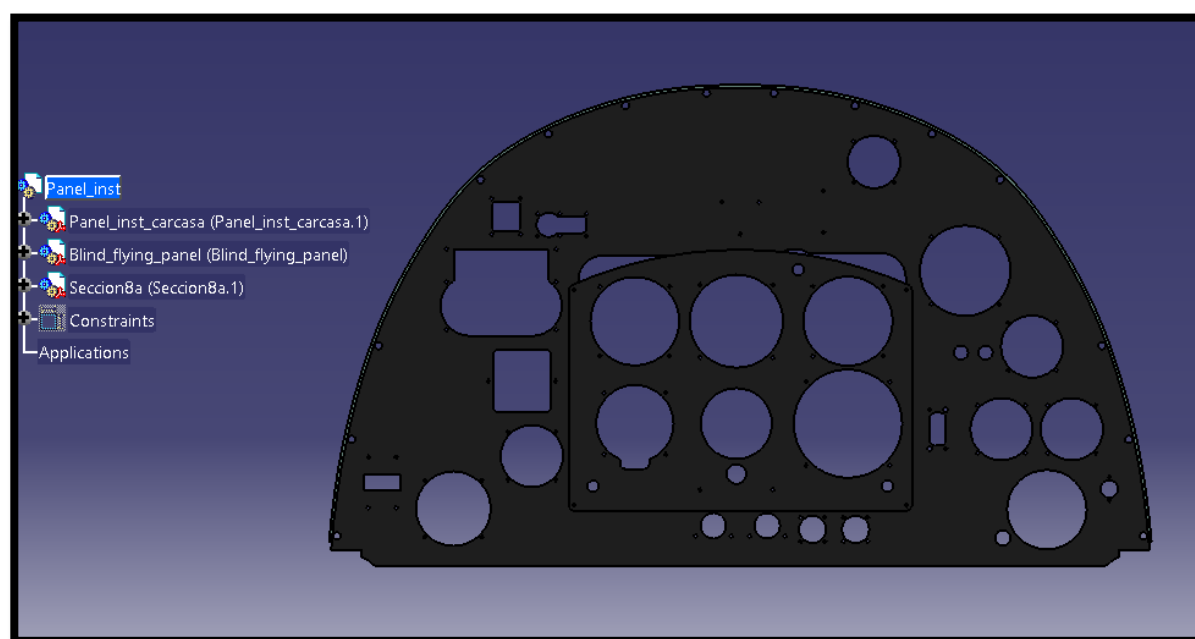


Figura 5-208. Panel de instrumentos en nuestro modelo

5.1.24 Pedales

La función de los pedales es controlar el timón de dirección y con ello el movimiento de guiñada del avión. De esta manera, si se presiona el pedal derecho, el timón de dirección gira a la derecha y el avión gira en esa dirección (movimiento opuesto si se presiona el izquierdo).

Para el modelado de los pedales contamos con planos no acotados. En este caso no podemos hacer uso de GeoGebra porque no tenemos referencias acerca de sus medidas y, por tanto, no podemos fijar 3 esquinas de la imagen. Por ello, procedemos a la impresión en A4 de las páginas que contienen dichos planos y, en base a las dimensiones de otras piezas que aparecen, calculamos la escala correcta y tomamos sucesivas medidas para su correcta reproducción en CATIA.

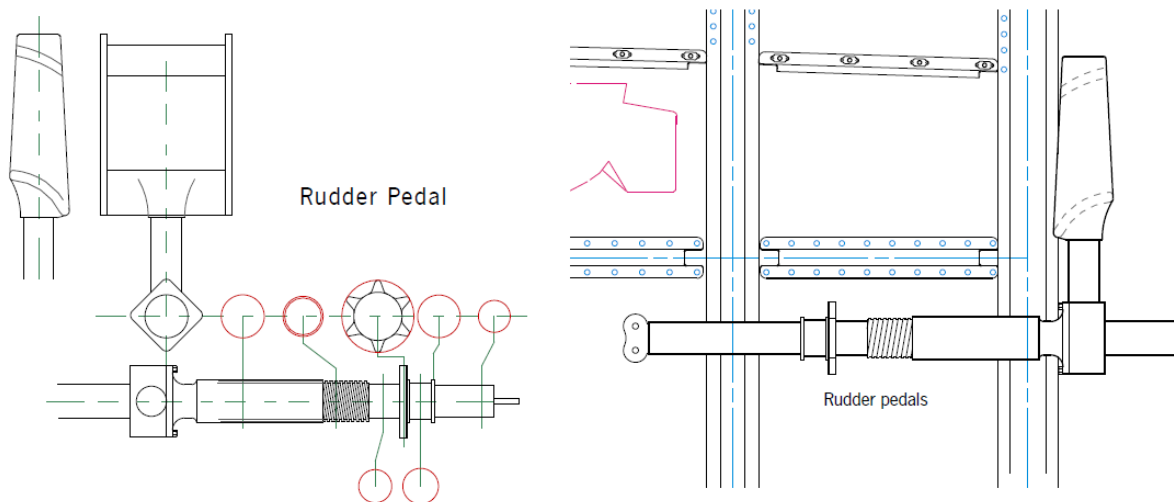


Figura 5-209. Pedales: planos; información de forma, secciones y posición

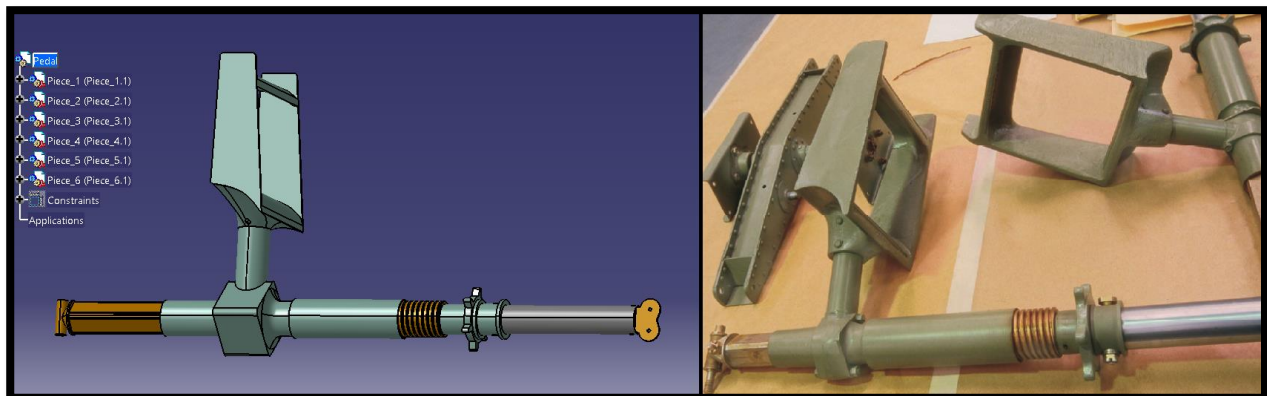


Figura 5-210. Pedal en nuestro modelo frente a imagen real

Como podemos observar en la figura anterior hemos realizado el modelado del pedal como un conjunto compuesto de 6 piezas que describimos a continuación.

- **Pieza 1:** Cilindro hueco de diámetro 33.2 mm, espesor 1 mm y longitud 182.6 mm. Leva 2 taladros pasantes en los extremos de diámetros 8 y 5.5 mm.

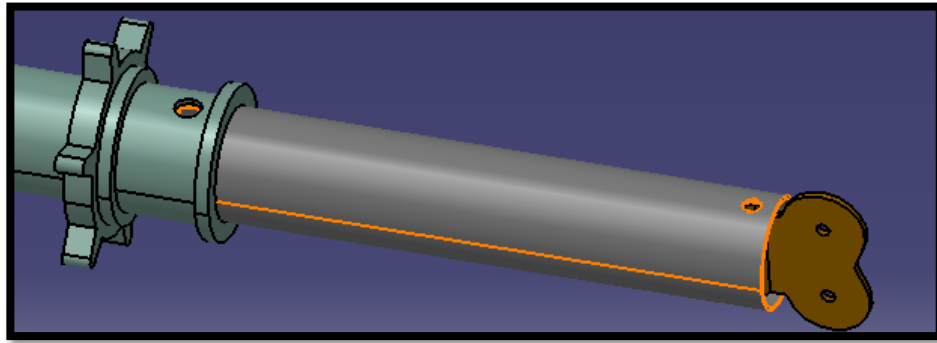


Figura 5-211. Pedal: Pieza 1

- **Pieza 2:** Sucesivas operaciones *Pad* para la extrusión de las diferentes secciones, seguidas de vaciados para el alojamiento de la Pieza 1 (*Pocket*) y para el roscado (*Slot* con curva guía la hélice).

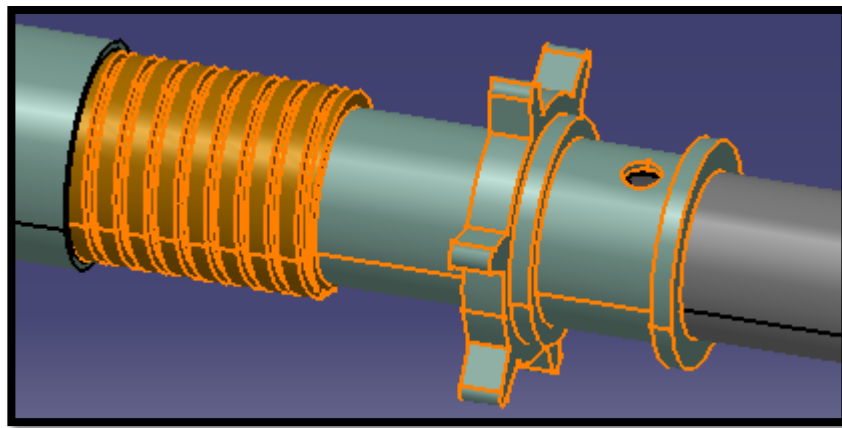


Figura 5-212. Pedal: pieza 2

- **Pieza 3:** Igualmente se trata de una sucesión de operaciones de extrusión más una operación *Multi-sections Solid*. Se realizan los pertinentes vaciados de la superficie con *Pocket* o activando la opción *Thick* en *Pad*. El cilindro vertical se añade al resto de la estructura mediante la operación booleana *Union trim*.

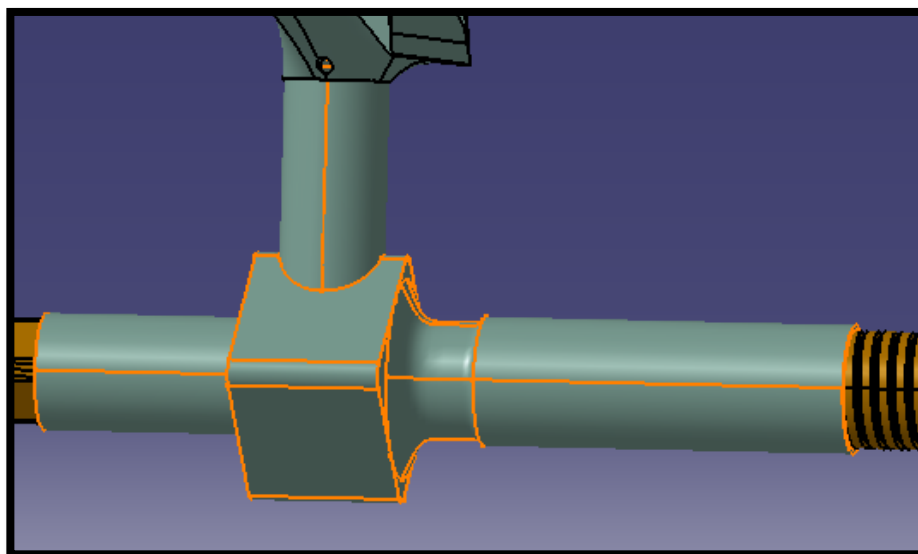


Figura 5-213. Pedal: Pieza 3

- **Pieza 4:** *Pad* de la sección más *Union trim* del cilindro vertical hueco.

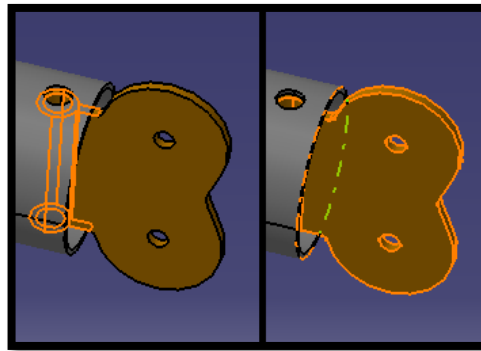


Figura 5-214. Pedal: pieza 4. A la izquierda vemos remarcado el cilindro vertical

- **Pieza 5:** De derecha a izquierda: 2 operaciones *Pad*, un *Multi-sections Solid* y *Union trim* del cilindro vertical hueco.

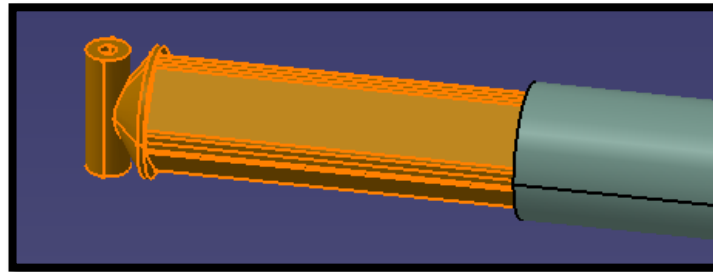


Figura 5-215. Pedal: Pieza 5

- **Pieza 6:** Realizamos la superficie lateral por extrusión del perfil, a lo que le siguen 2 operaciones *Pad* para recrear las superficies que usa el piloto para el movimiento del pedal más la simetría de la primera superficie. Posteriormente realizamos la base (con la que se realiza la sujeción al resto de la estructura) mediante *Multi-sections Solid* (con sección final circular).

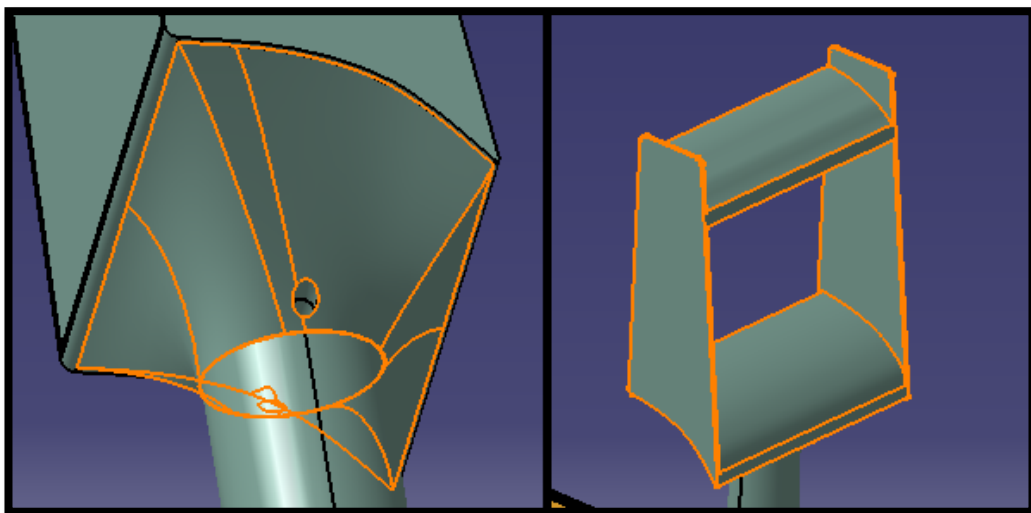


Figura 5-216. Pedal: pieza 6. Ala izquierda operación *Multi-sections Solid*

5.1.25 Rudder bar y su soporte

Este conjunto sirve como sujeción para los pedales al resto de la estructura del avión. De hecho, la parte principal de Rudder bar forma parte del mecanismo del movimiento de los pedales, que como explicamos anteriormente obviamos por desconocimiento de su funcionamiento (dejamos cero grados de libertad). La recreación de todas las piezas se hace en base a fotografías y en concordancia a otras partes del avión, no contándose con planos.

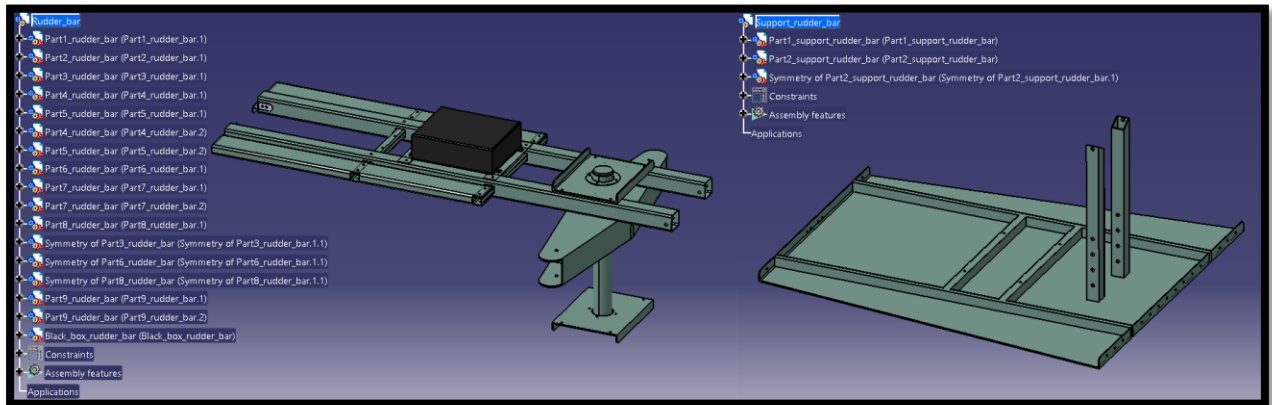


Figura 5-217. Rudder bar a la izquierda y su soporte a la derecha

En el caso de Rudder bar, nos centraremos en describir el proceso de modelado de su parte principal, obviando el resto de componentes (se muestran en la Figura 5-217), cuya secuencia de operaciones es:

1. *Pad*:

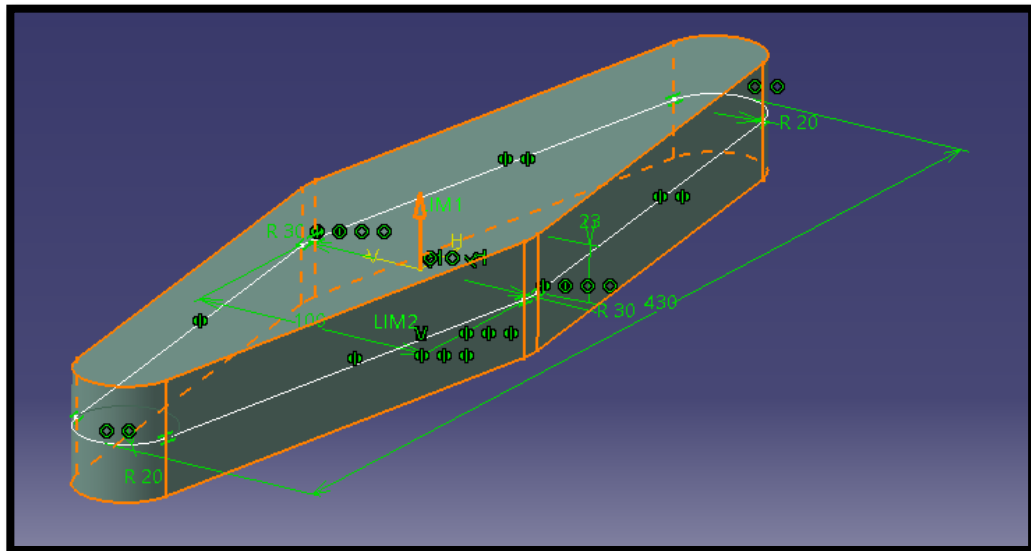


Figura 5-218. Rudder bar: Pad parte principal

2. *Pocket + Mirror*: Hacemos simetría con respecto a yz.

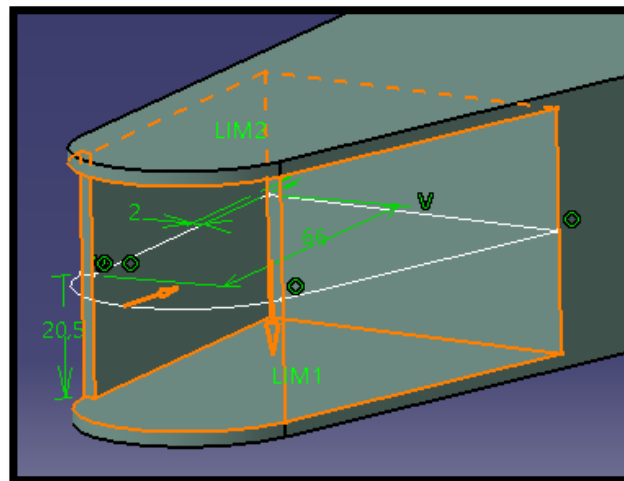


Figura 5-219. Rudder bar: Pocket parte principal

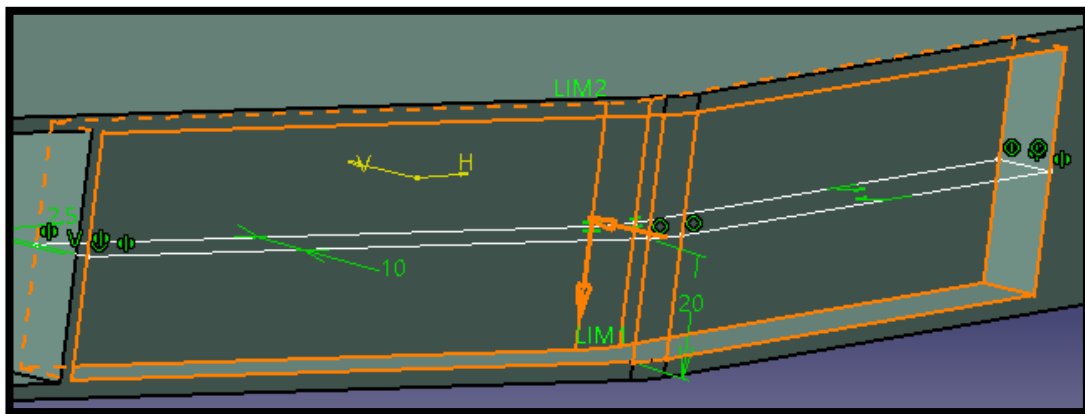
3. *Pocket:*

Figura 5-220. Rudder bar: Pocket.2 parte principal

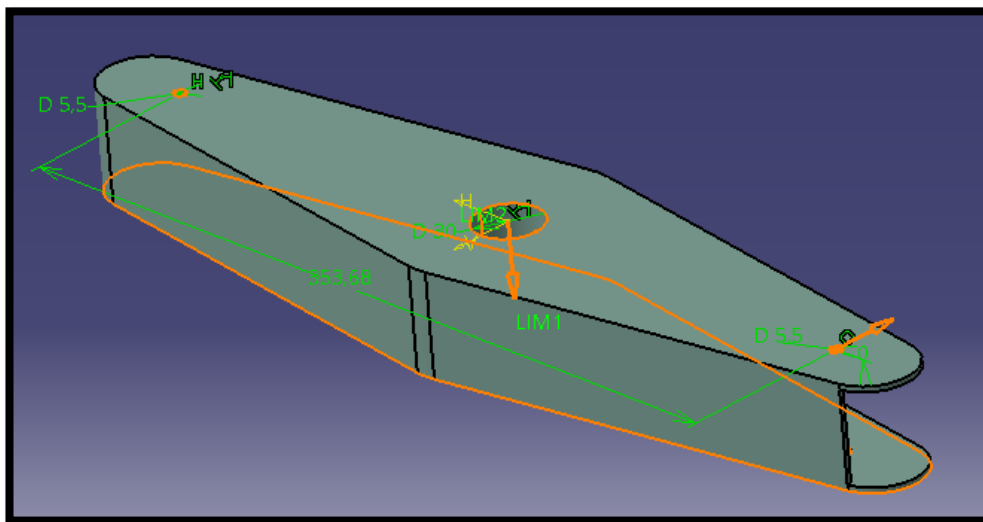
4. *Pocket:*

Figura 5-221. Rudder bar: Pocket.3 parte principal

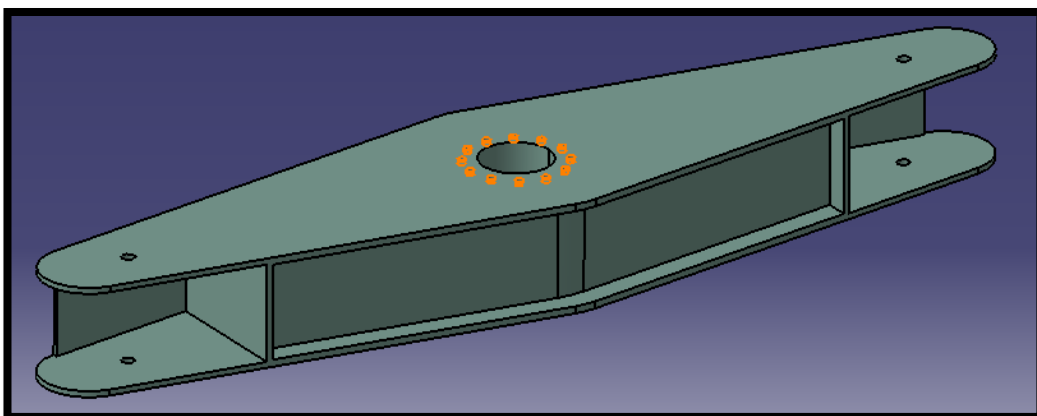
5. *Pocket:* Profundidad 2 mm y diámetro 3.5 mm.

Figura 5-222. Rudder bar: Pocket.4 parte principal

5.1.26 Joystick

El joystick sirve para controlar los movimientos de cabeceo y alabeo. Si tiramos del joystick el timón de profundidad sube y se produce la elevación del morro del avión (movimiento opuesto si empujamos el joystick).

Por otro lado, si giramos el joystick se produce la deflexión diferencial de los alerones. Si giramos hacia la izquierda, el alerón izquierdo sube y el derecho baja, provocando una diferencia de sustentación que hace el avión girar a la izquierda (movimiento opuesto en caso de girar hacia la derecha).

Para su modelado contamos con planos e imágenes, pero no podemos obtener la escala, a diferencia del caso de los pedales, ya que no contamos con ninguna dimensión que nos sirva de referencia. Estimamos la longitud para el soporte vertical, de acuerdo a las imágenes con las que contamos y trabajamos con la escala que obtenemos comparando con la dimensión del plano (impreso en A4).

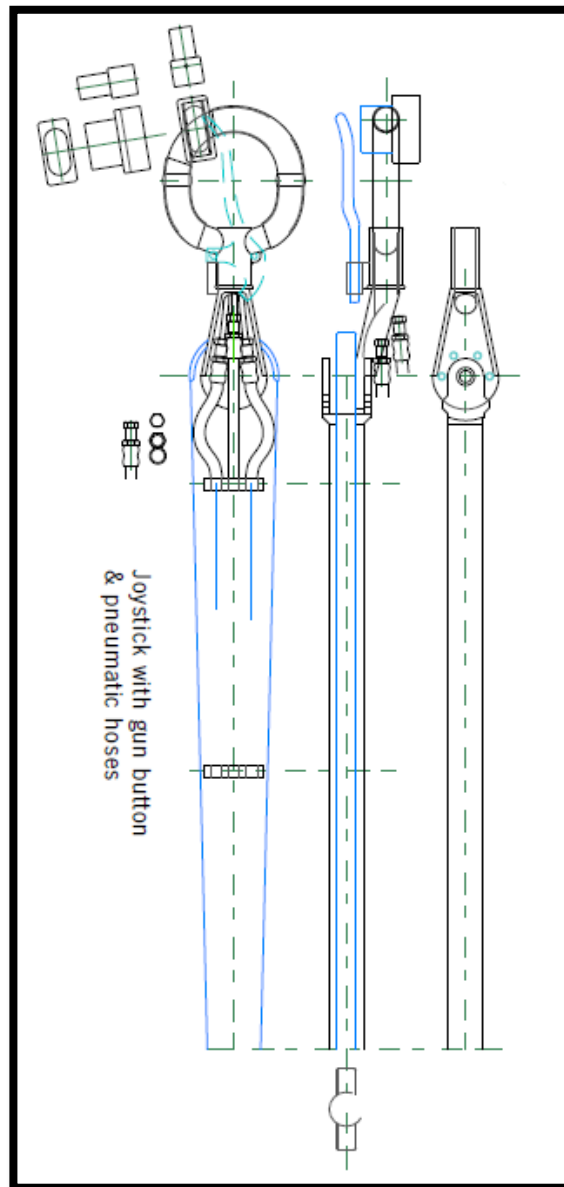


Figura 5-223. Joystick: plano

En las imágenes que se muestran a continuación podemos ver el resultado final y la comparación con el joystick real, hecho que refleja que la recreación es correcta. No entramos en detalles del proceso de modelado.

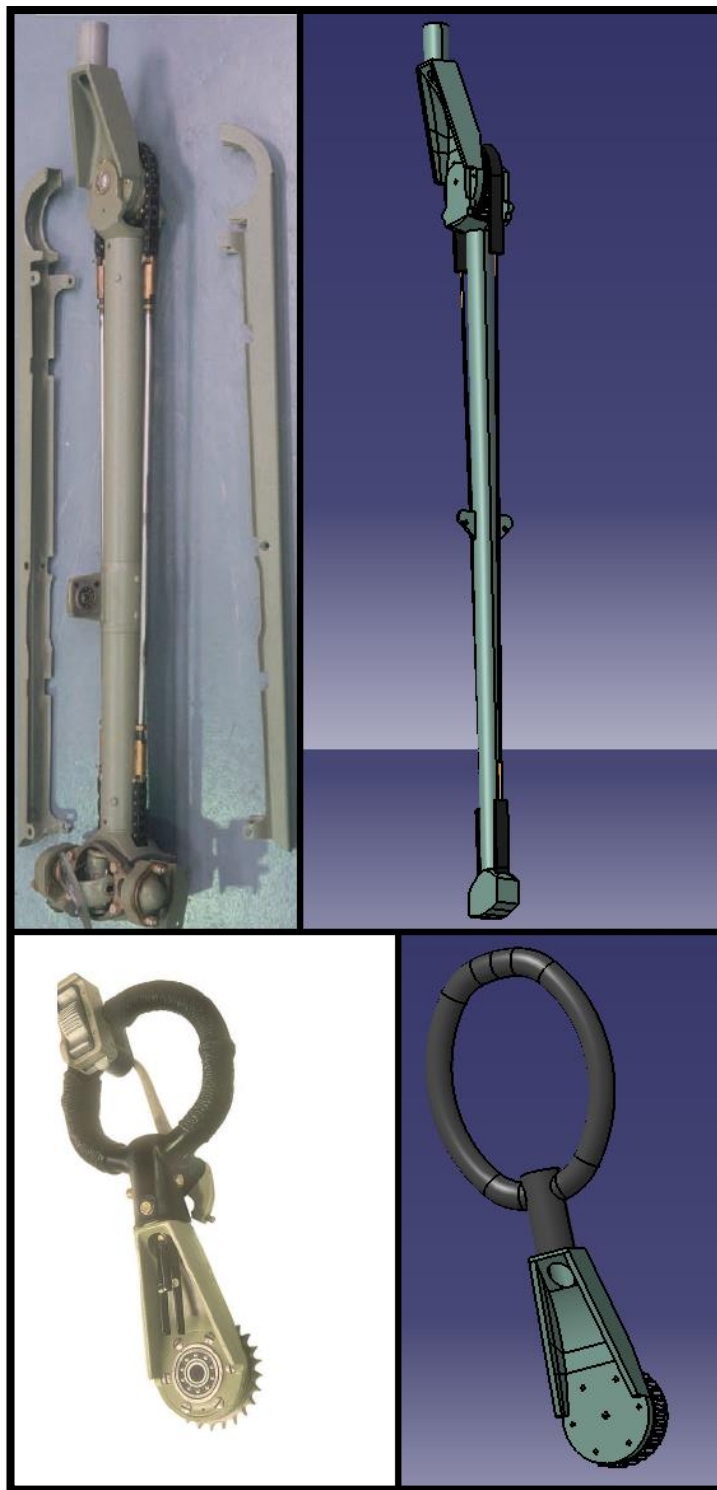


Figura 5-224. Joystick: Imágenes del real frente a la recreación en CATIA

Para finalizar todo lo relativo a sistemas de cabina hacemos una comparación entre la vista del *Cockpit* en el caso real y en nuestro modelo. Aunque la perspectiva desde la que se toma la imagen no es exactamente la misma, sirve para demostrar que el proceso de modelado está siendo muy preciso.

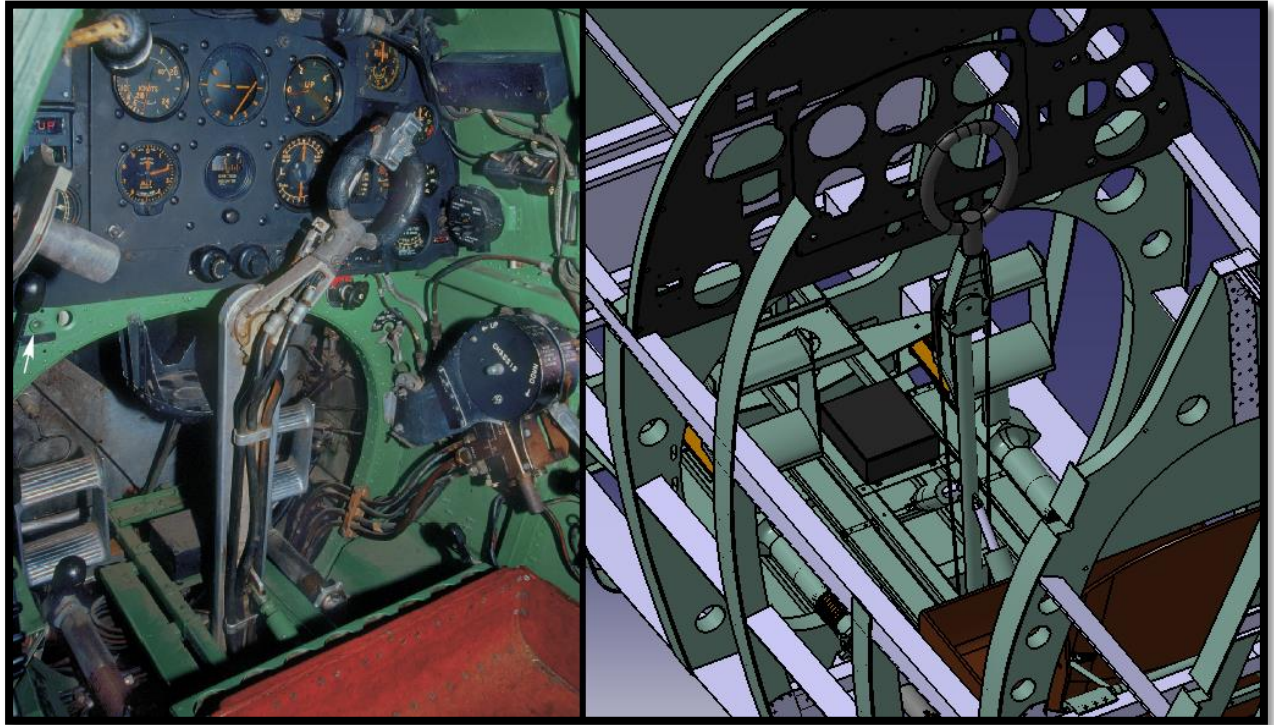


Figura 5-225. Cockpit: Real frente a nuestro modelo

5.1.27 Cubierta fuselaje

La cubierta del fuselaje es la delgada capa de aluminio que recubre esta parte del avión con un espesor que varía dependiendo de la zona entre 0.711 y 3.66 mm (fuel tank). Su función es tanto proteger como aislar el interior del avión, sin suponer una gran resistencia aerodinámica. En nuestro caso, al tratarse de un caza de guerra, debe haber el mayor compromiso posible entre estos factores, puesto que debe proteger a los sistemas del avión y al piloto de proyectiles, pero suponiendo la menor resistencia aerodinámica para que el avión sea lo más rápido posible.

Dividiremos el modelado de la cubierta en varias partes, concretamente entre cada par de costillas, y lo realizamos íntegramente en el módulo de superficies (*Shape/Generative Shape Design*). A continuación explicamos la dinámica seguida.

Una vez extraídas todas las superficies externas de las costillas que componen el fuselaje (mediante la orden *Extract*), creamos guías entre una costilla y otra y procedemos a unir las usando mayoritariamente la orden *Multi-sections Surface* (en algún caso utilizamos operaciones como *Fill* o *Blend*). Posteriormente damos espesor a las superficies mediante *Thick Surface* (espesor que dependerá de la zona que se trate).

5.1.28 Resultado final

Una vez situadas las costillas como explicamos anteriormente deberíamos reducir los grados de libertad del resto de componentes a 0. No obstante, habitualmente hemos fijado los planos de estos componentes antes de realizar el modelado, trabajando en el entorno del conjunto fuselaje y haciendo que la pieza en cuestión se adapte a las condiciones de posición que debe cumplir.

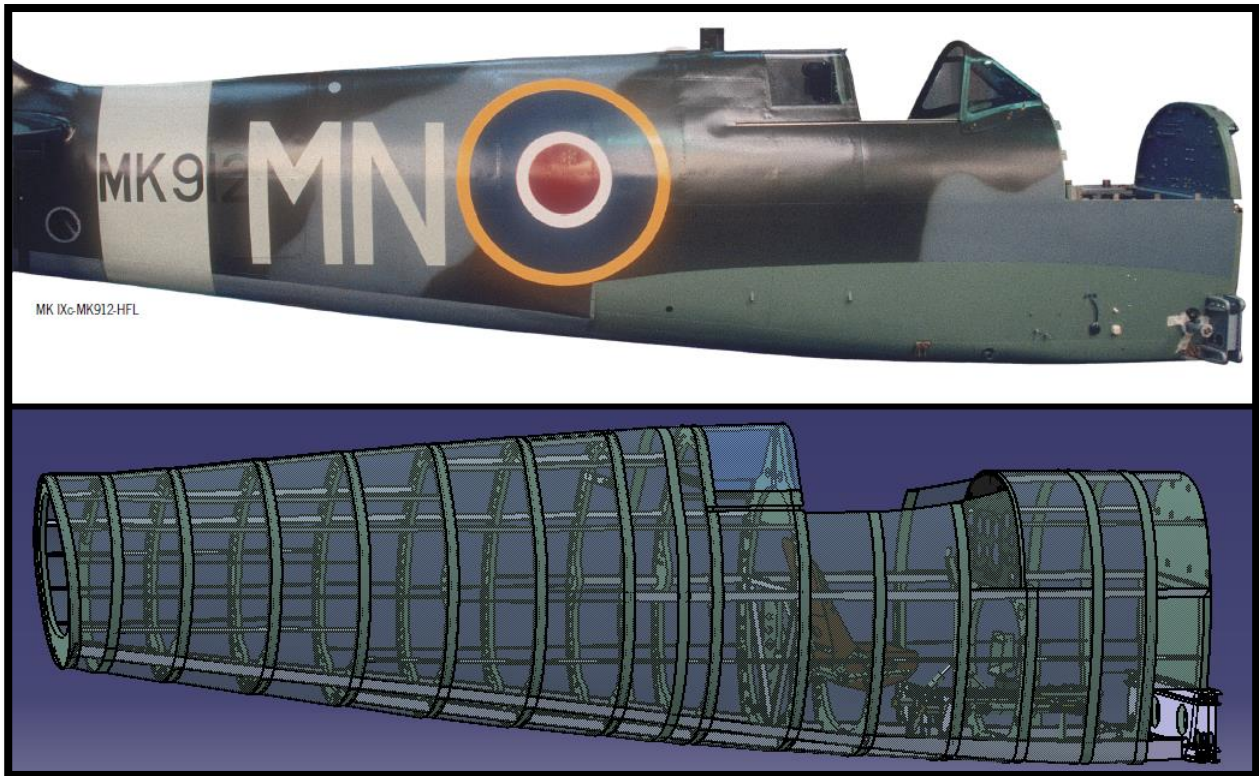


Figura 5-226. Fuselaje: imagen real frente al resultado final de nuestro modelo

Le damos transparencia a la cubierta exterior para que podamos ver los componentes internos que se han modelado.

5.2 Cowlings

Se define como el conjunto de cubiertas del compartimento motor que pueden ser abiertas o desmontadas, por ejemplo, para inspección. Es una de las partes que implica más cambio con respecto al modelo Mk V del Spitfire, ya que se aumentó la potencia del motor y consecuentemente su tamaño, por lo que la cavidad que lo alberga se hizo más grande (unos 20 cm mayor en longitud).

En nuestro caso lo modelaremos como una sola cubierta e incluiremos partes del sistema propulsor en este conjunto (como la hélice o el spinner).

5.2.1 Metodología seguida con las secciones

El método de trabajo es muy similar al seguido con las secciones del fuselaje, pues contamos igualmente con tablas con coordenadas de los diferentes puntos que forman las secciones de este componente. Introduciendo estos puntos de forma correcta en hojas de Excel y respetando el sistema de ejes usado, podemos hacer uso de la macro que nos permite importar puntos de acuerdo a sus coordenadas (x, y, z).

Table 3.18 - 1

Cowling ordinates

| STATION | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 | 81 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Max Width | 25.15 | 13.07 | 13.52 | 13.89 | 14.22 | 14.57 | 14.91 | 16.49 | 17.28 | 17.40 | 17.32 | 17.13 | 16.94 |
| | 638.81 | 331.98 | 343.41 | 352.81 | 361.19 | 370.08 | 378.71 | 418.85 | 438.91 | 441.96 | 439.93 | 435.10 | 430.28 |
| WL 1 | | 13.04 | 13.49 | 13.86 | 14.16 | 14.42 | 14.67 | 16.13 | 16.80 | 16.77 | 16.61 | 16.44 | 16.31 |
| | 331.22 | 342.65 | 352.04 | 359.66 | 366.27 | 372.62 | 409.70 | 426.72 | 425.96 | 421.89 | 417.58 | 414.27 | |
| WL 2 | | 12.44 | 13.13 | 13.63 | 13.96 | 14.16 | 14.32 | 15.23 | 15.70 | 15.68 | 15.60 | 15.47 | 15.36 |
| | 315.98 | 33.50 | 346.20 | 354.58 | 359.66 | 363.73 | 386.84 | 398.78 | 398.27 | 396.24 | 392.94 | 390.14 | |
| WL 3 | | 10.97 | 12.33 | 13.18 | 13.74 | 14.11 | 14.38 | 14.98 | 15.27 | 15.32 | 15.07 | 14.51 | 13.72 |
| | 278.64 | 313.18 | 334.77 | 349.00 | 358.39 | 365.25 | 380.49 | 387.86 | 389.13 | 382.78 | 368.55 | 348.49 | |
| WL 4 | | 1.55 | 5.63 | 8.21 | 9.87 | 10.93 | 11.61 | 13.29 | 13.96 | 14.16 | 13.54 | 12.19 | 10.64 |
| | 39.37 | 143.00 | 208.53 | 250.70 | 277.62 | 294.89 | 337.57 | 354.58 | 359.66 | 343.92 | 309.63 | 270.26 | |
| WL 5 | | | | | | | | | | 1.23 | | | |
| | | | | | | | | | | 31.24 | | | |
| BL CtrLine - Top | | 16.06 | 16.45 | 16.78 | 17.07 | 17.35 | 17.60 | 18.76 | 19.49 | 19.91 | 20.02 | 19.75 | 19.26 |
| | 407.92 | 417.83 | 426.21 | 433.58 | 440.69 | 447.04 | 476.50 | 495.05 | 505.71 | 508.51 | 501.65 | 489.20 | |
| BL 1 | | 15.50 | 16.10 | 16.53 | 16.87 | 17.15 | 17.39 | 18.52 | 19.23 | 19.68 | 19.70 | 19.38 | 18.74 |
| | 393.70 | 408.94 | 419.86 | 428.50 | 435.61 | 441.71 | 470.41 | 488.44 | 499.87 | 500.38 | 492.25 | 476.00 | |
| BL 2 | | 13.14 | 14.59 | 15.42 | 15.96 | 16.35 | 16.65 | 17.67 | 18.37 | 18.72 | 18.47 | 17.64 | 16.51 |
| | 333.76 | 370.59 | 391.67 | 405.38 | 415.29 | 422.91 | 448.82 | 466.60 | 475.49 | 469.14 | 448.06 | 419.35 | |
| BL 2.5 | | 1.30 | 9.27 | 12.56 | 13.80 | 14.50 | 14.94 | 16.26 | 16.96 | 17.21 | 16.57 | 15.12 | 13.22 |
| | 33.02 | 235.46 | 318.77 | 350.52 | 368.30 | 379.48 | 413.00 | 430.78 | 437.13 | 420.88 | 384.05 | 335.79 | |
| Diagonal Y | | 16.34 | 17.60 | 18.48 | 19.07 | 19.50 | 19.80 | 20.74 | 21.23 | 21.39 | 20.90 | 19.90 | 18.78 |
| | 415.04 | 447.04 | 469.39 | 484.38 | 495.30 | 502.92 | 526.80 | 539.24 | 543.31 | 530.86 | 505.46 | 477.01 | |
| WL Fuse Datum | | 13.04 | 13.38 | 13.83 | 14.21 | 14.56 | 14.89 | 16.42 | 17.14 | 17.22 | 17.13 | 16.96 | 16.79 |
| | 331.22 | 339.85 | 351.28 | 360.93 | 369.82 | 378.21 | 417.07 | 435.36 | 437.39 | 435.10 | 430.78 | 426.47 | |

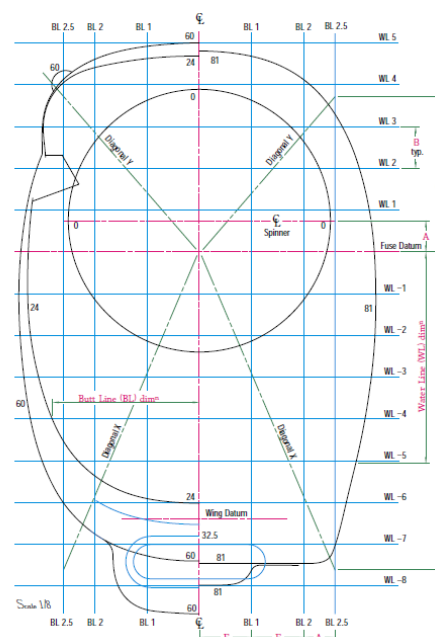


Figura 5-227. Muestra de la tabla de coordenadas (cowlings) e imagen explicativa de la interpretación correcta. Con estos puntos representamos el contorno exterior de la secciones mediante el uso de *Spline*. Una vez hecho esto actuamos de la misma manera para todas las secciones realizando una operación *Rib*, en la que la curva guía es el contorno representado y el perfil seguido un cuadrado de lado 2 mm, seguida de una operación de simetría (*Mirror*) con respecto al plano yz.

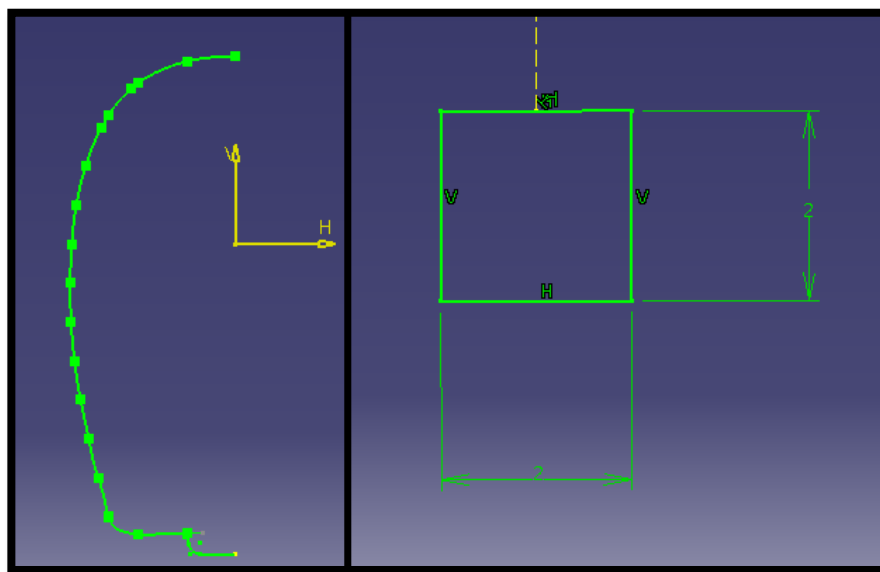


Figura 5-228. Sección 81: Ejemplo de curva guía y perfil en la operación Rib

5.2.2 Secciones

Una vez explicado el proceso seguido, que es idéntico para todas las secciones, procedemos a mostrar cual es el resultado final de cada una de ellas.

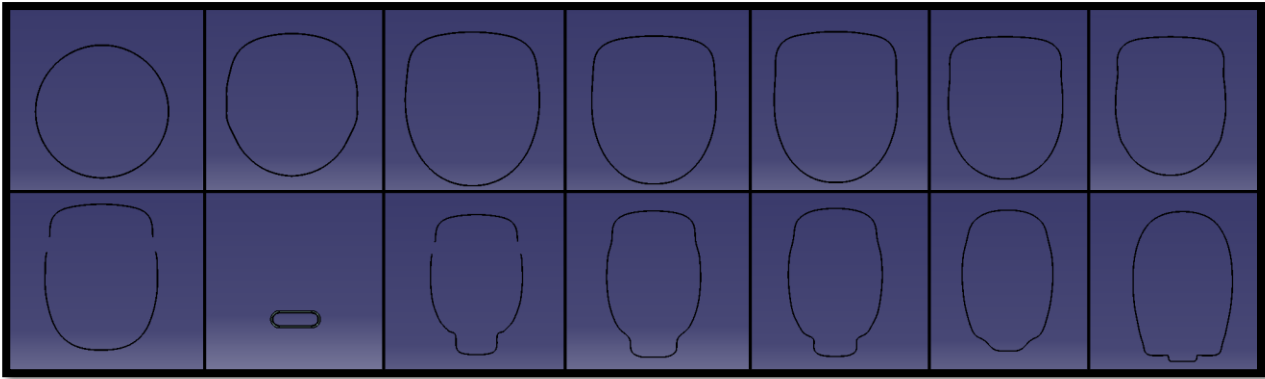


Figura 5-229. Cowlings: Secciones en nuestro modelo

Por orden: secciones 0'', 2'', 4'', 6'', 8'', 10'', 12'', 24'', 32.5'', 36'', 48'', 60'', 72'' y 81''.

5.2.3 Cubierta

La cubierta es realmente lo que se conoce como cowling, en cuanto a la estructura global de un avión se refiere y su función es aislar y proteger el motor (su espesor aumenta con respecto a la cubierta del fuselaje, puesto que el motor se trata de una parte crítica). Dispone de un hueco en su superficie por donde asoman los escapes del motor, para disipar calor.

Para realizarla utilizamos el módulo de superficies (*Shape/Generative Shape Design*). El primer paso será extraer las superficies exteriores de todas las secciones anteriormente modeladas (orden *Extract*). Una vez hecho esto creamos las guías que seguirán las operaciones *Multi-sections Surface* que usaremos entre cada par de secciones (normalmente una, pero en algunos casos más).

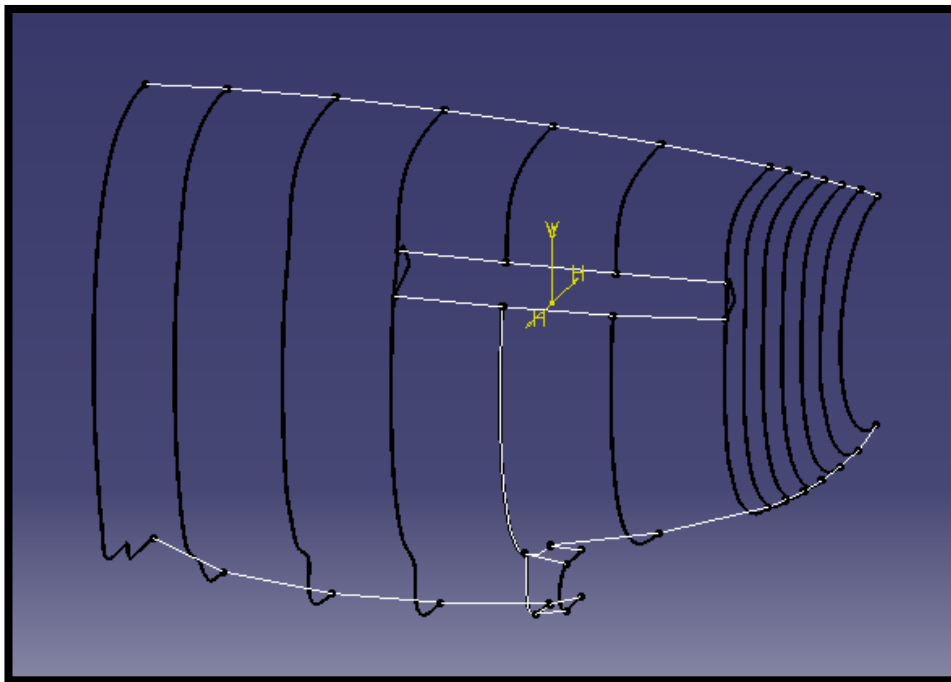


Figura 5-230. Cubierta cowlings: Superficies extraídas de las secciones y guías utilizadas en su unión

Para finalizar damos un espesor de 1.22 mm a todas las superficies mediante la operación *Thick Surface* y hacemos simetría con respecto al plano yz mediante la opción *Symmetry*.

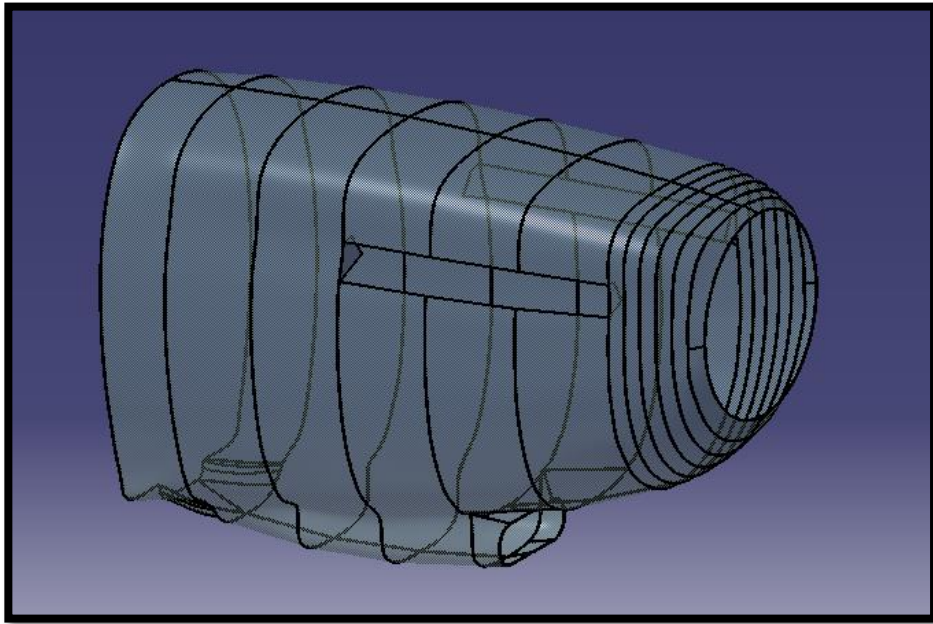


Figura 5-231. Cubierta cowlings finalizada

Prestamos especial atención a cuatro secciones por las particularidades que presentan en cuanto a la unión con las demás y su modelado en general:

- **Sección 36”**: en su parte frontal queda unida tanto a la sección 24”, como a la 32.5”. Obviando la parte superior, que no presenta ningún problema, haremos uso de cuatro operaciones *Multi-sections Surface*. Para ello, en el extremo correspondiente a la sección 36” utilizamos un *Sketch* para la unión con la sección 24” y otros dos más un borde para la unión con la sección 32.5”.

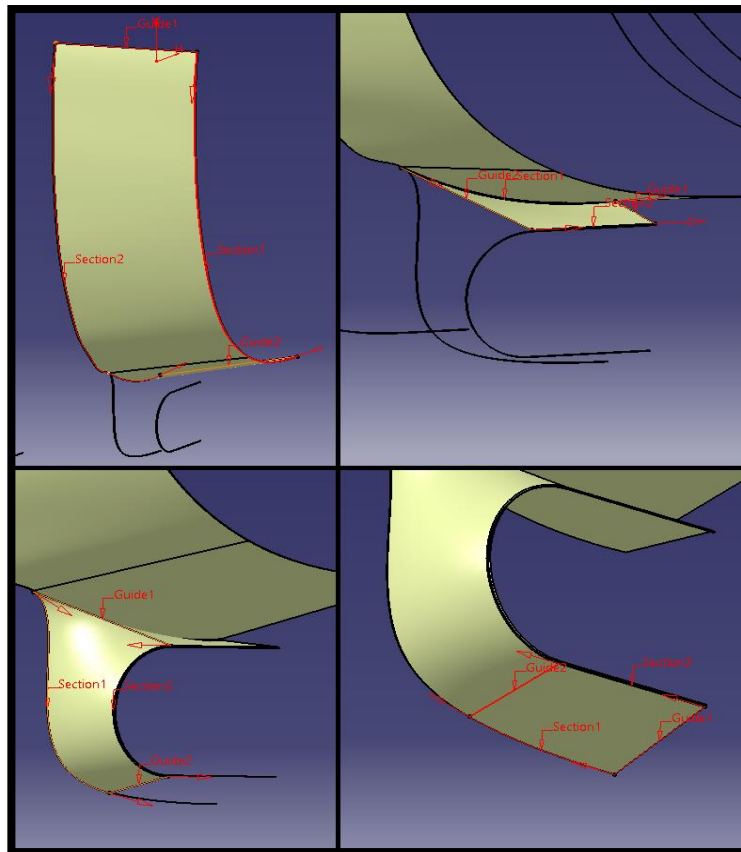


Figura 5-232. Sección 36”: Secuencia de operaciones para la unión correcta

- **Sección 24'':** En el apartado donde mostramos las diferentes secciones, podemos ver que la sección 24'' muestra huecos en su parte lateral. Pues bien, este es el resultado final de la recreación, pero anteriormente dicha sección presentaba otra forma, que es la que extraemos para el modelado de la cubierta.

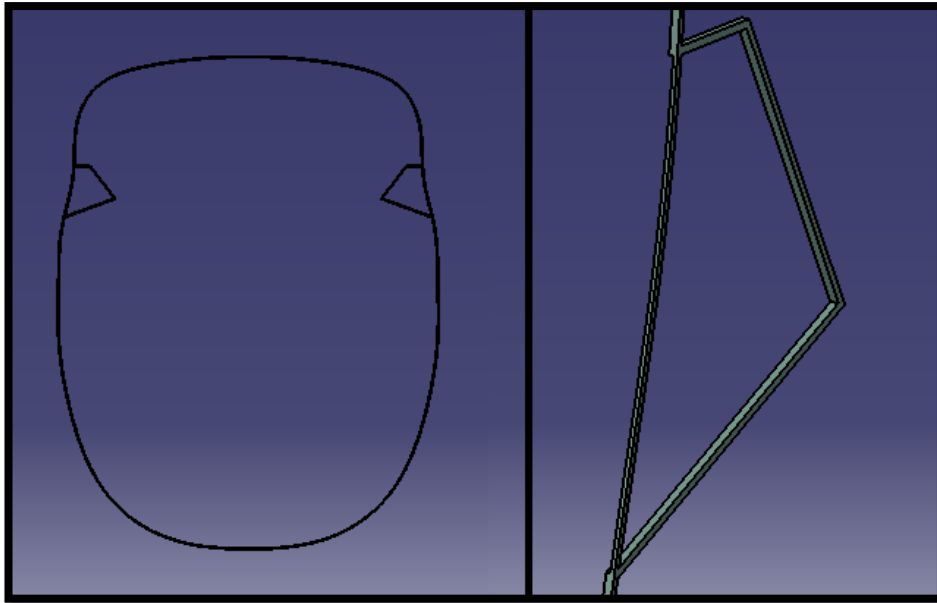


Figura 5-233. Sección 24'' antes del vaciado: superficie que extraemos

La superficie que cubre el polígono interior la realizamos por la operación *Fill*.

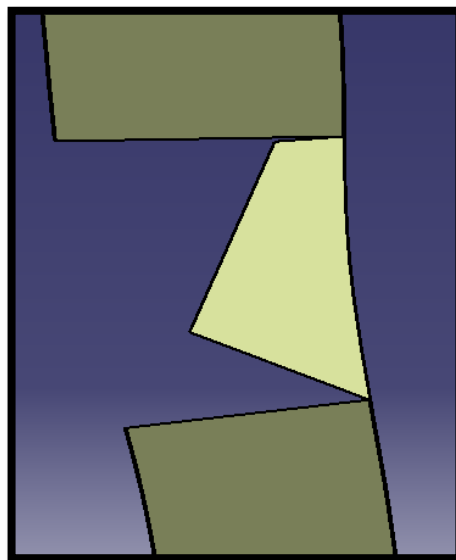


Figura 5-234. Sección 24'': Resultado de la operación *Fill*

- **Sección 48'':** Caso idéntico al de la sección anterior.
- **Sección 81'':** Por las particularidades de la sección, la unión con la sección anterior (es decir, la 72''), se realiza mediante la operación *Fill*, utilizando las guías mostradas anteriormente para cerrar el contorno (tal y como nos pide esta operación). El problema que presenta para la realización de una operación *Multi-sections Surface*, es el hecho de que el contorno de la sección 81'' está compuesto por cinco superficies, que extraemos.

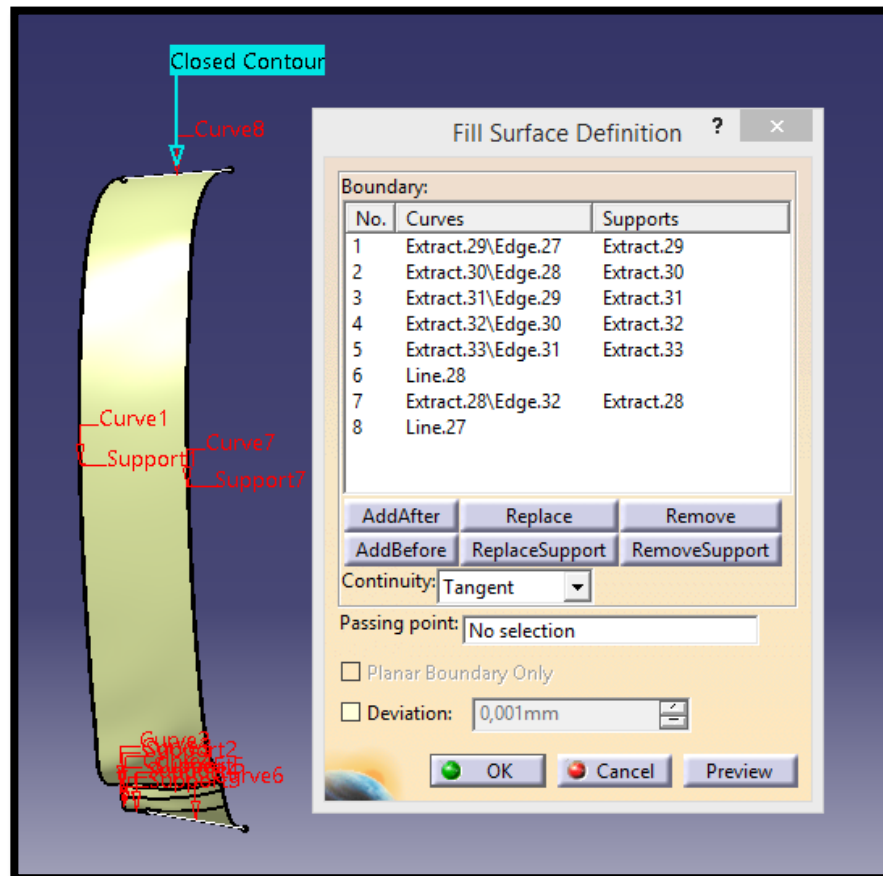


Figura 5-235. Sección 81”: Operación Fill

5.2.4 Spinner

Se trata de un carenado aerodinámico montado sobre el eje de la hélice que hace que el avión sea más aerodinámico, reduciendo el arrastre aerodinámico y también suavizando el flujo de aire para que entre más eficientemente en las tomas de aire. En algunos diseños de aeronaves también cumplen un papel estético.

Para su modelado contamos con planos detallados de la superficie externa e imágenes que nos ayudan a realizar detalles no apreciados en los planos.

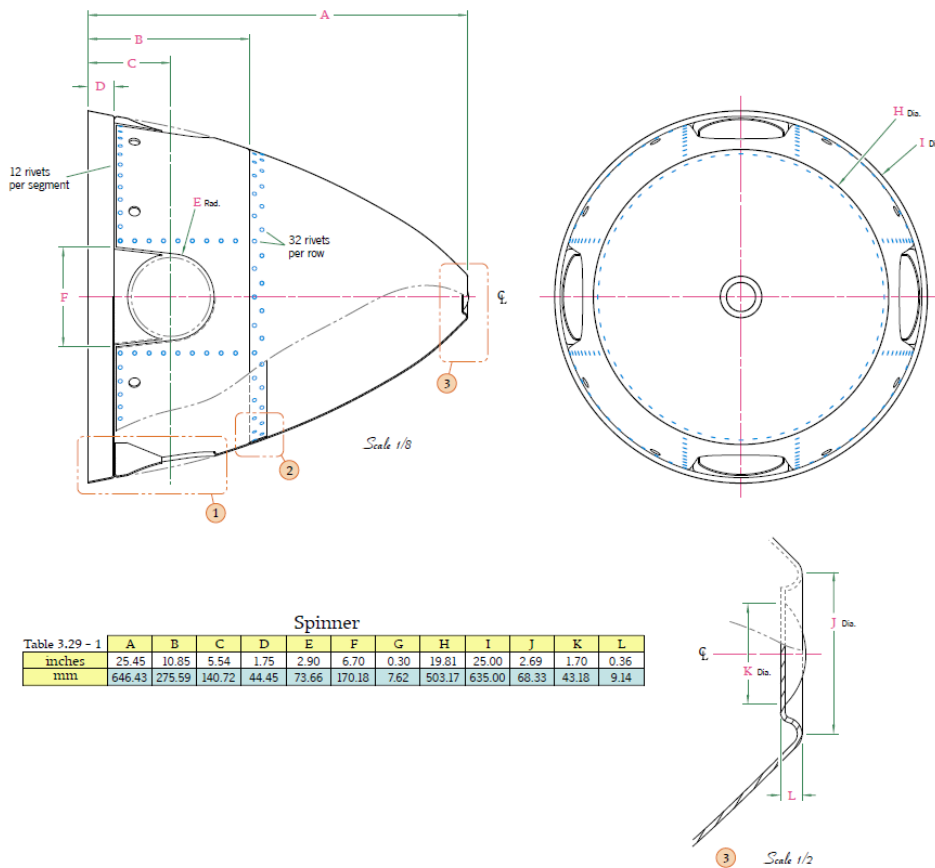


Figura 5-236. Spinner: Planos acotados y correspondiente tabla de cotas

Trataremos esta pieza como un conjunto de 3 piezas diferenciadas, haciendo uso simultáneo del módulo de diseño y el de superficies. Prestamos especial atención a los planos que se muestran en la Figura 5-236.

- **Pieza 1:**



Figura 5-237. Spinner: Imagen real de la pieza 1

Realizamos una operación *Multi-sections Surface* con la primera sección de diámetro I y la que se encuentra a una distancia B (diámetro H). Posteriormente cortamos con la operación *Split* a una distancia D (quedándonos con la parte comprendida entre la primera sección y esta distancia). Rellenamos con *Fill* el hueco circular resultante, damos espesor de 1 mm a las superficies resultantes y realizamos el conveniente vaciado.

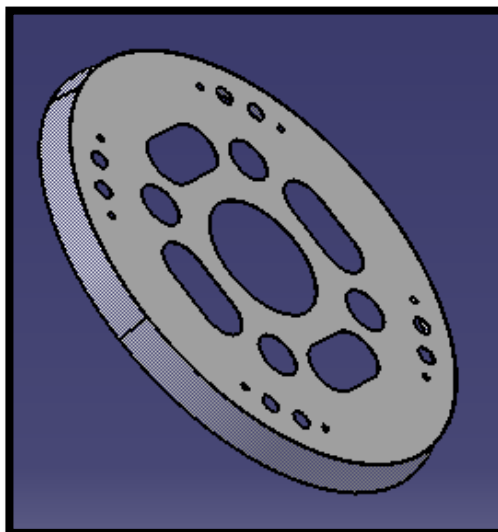


Figura 5-238. Spinner: Primera parte del modelado de la pieza 1

Posteriormente realizamos los 4 componentes que nos quedan y que podemos ver en la Figura 5-237 (hacemos uno y el resto por simetría). Para ello en el módulo de diseño realizamos un sólido por *Pad* al que le realizamos el conveniente vaciado de las caras superior e inferior por *Pocket* y de la parte frontal por *Hole* (Diámetro 147.32 mm). Para adecuarlo a la superficie de la pieza que le sigue (pieza 2 del spinner) hacemos uso de la operación *Trim* que implica al componente en cuestión y a un *Multi-sections Surface* idéntico al primero realizado.

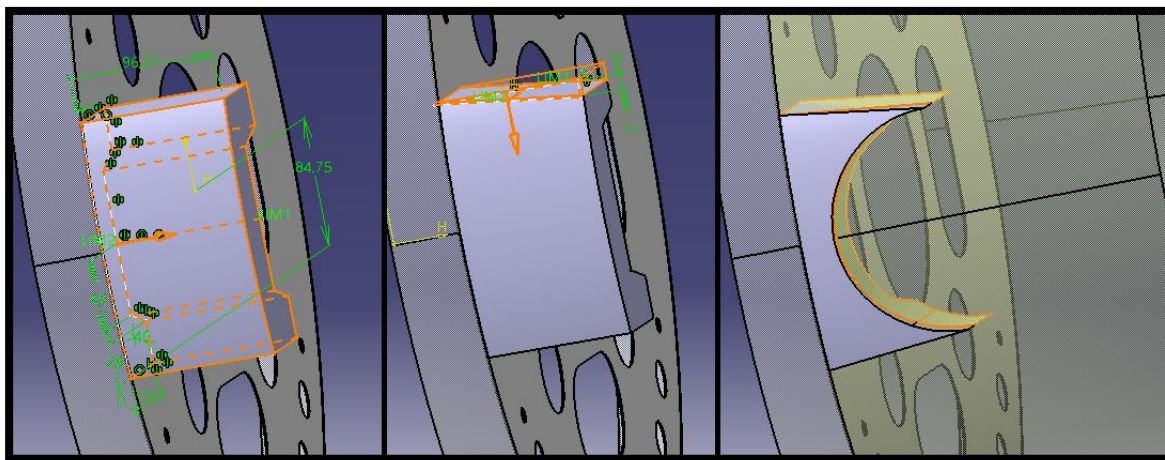


Figura 5-239. Spinner: Operaciones Pad, Pocket y Trim del 2º componente de la pieza 1

Para finalizar, vaciado por *Shell* (espesor 0.8 mm) y operaciones de simetría para reproducir los 4 componentes. En la imagen a continuación se muestran en color púrpura las caras que se eliminan con *Shell*.

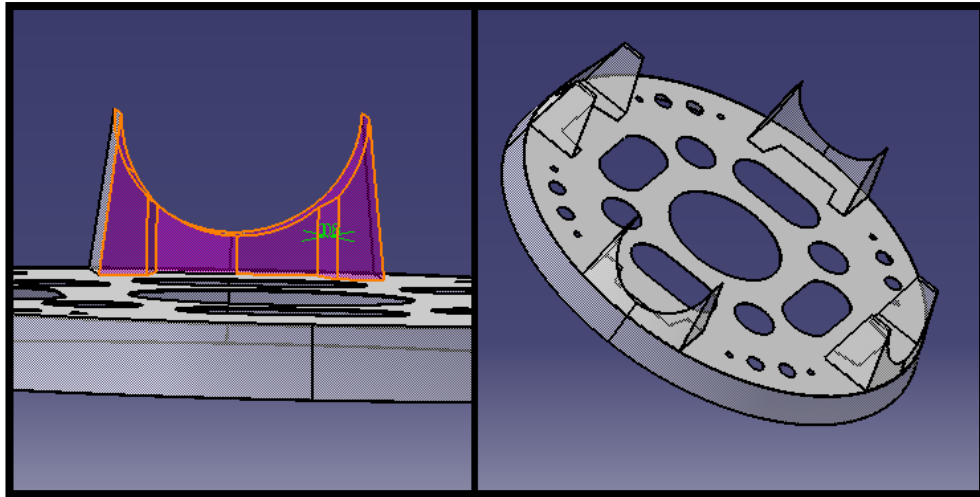


Figura 5-240. Spinner: Operación Shell para el 2º componente y pieza 1 finalizada

- **Pieza 2:** Realizamos una operación *Multi-sections Surface* entre la sección situada a una distancia D, cuyo diámetro medimos de la pieza anterior (613.737 mm) y la situada a una distancia B (diámetro H). Por *Thick Surface* le damos un espesor de 1 mm y para finalizar le realizamos el conveniente vaciado de los perfiles cuyas dimensiones características son C (distancia al centro), E (diámetro) y F.

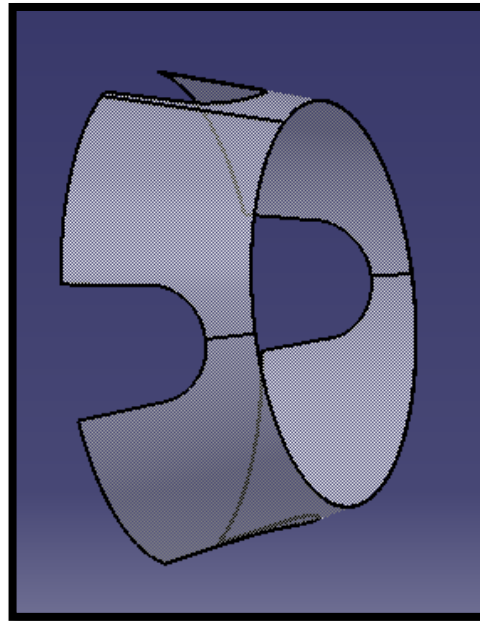


Figura 5-241. Spinner: Pieza 2 finalizada

- **Pieza 3:** Para empezar, operación *Multi-sections Surface* tomando especial atención en las guías (sección inicial a distancia B y diámetro H; sección final a distancia A y diámetro J). Le damos espesor de 1 mm y realizamos una superficie dentro de la ya desarrollada mediante la operación *Revolute* alrededor del eje Y (el perfil que revolucionamos debe garantizar la no colisión) al que damos tambi

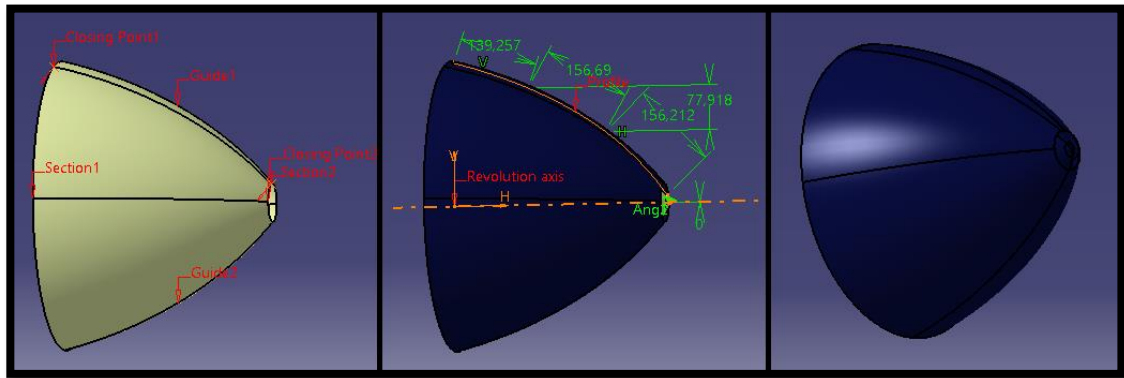


Figura 5-242. Spinner: Operaciones Multi-sections Surface y Revolute y pieza final
Para finalizar realizamos una comparación entre imágenes reales y la recreación 3D realizada.

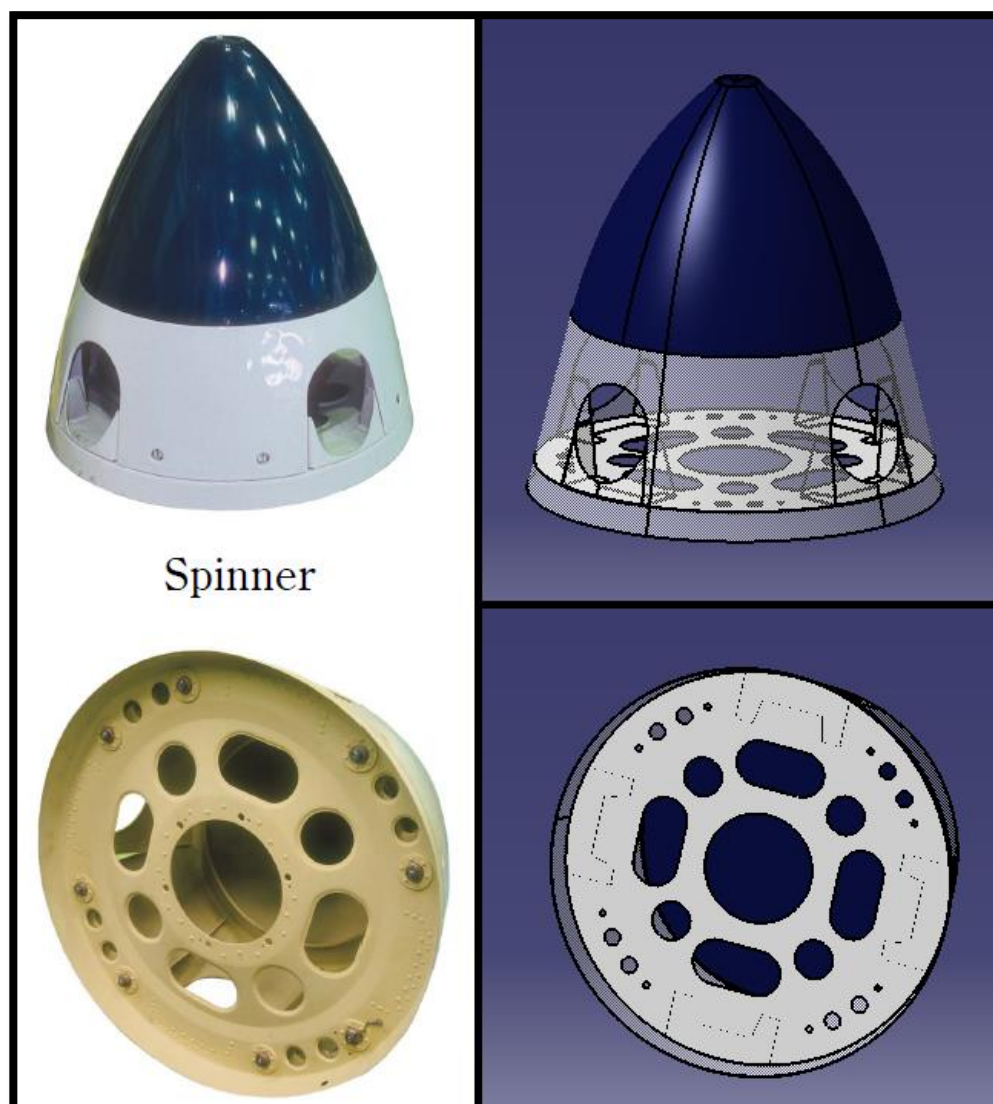


Figura 5-243. Spinner: Imagen real frente a nuestro modelo

5.2.5 Hélice

Parte encargada de convertir el movimiento rotatorio del motor para proporcionar fuerza propulsora. Comprende una base giratoria (spinner) a la cual están unidas varias palas radiales con perfil aerodinámico de tal manera que todo el conjunto gira alrededor de un eje longitudinal. El paso de pala puede ser fijo, variable manualmente

a unas pocas posiciones de ajuste, o del tipo "velocidad constante" de variable automática. La hélice se conecta al árbol de transmisión de la fuente de alimentación directamente a través de engranajes reductores.

En nuestro caso las palas de la hélice están fabricadas en un material compuesto "wood resin" (madera-plástico) y se adecuan a las características de la aeronave, que en ningún caso supera los 770 km/h (donde la velocidad de la punta de la cuchilla comienza a ser supersónica, con las consiguientes ondas de choque causando alta resistencia y otras dificultades mecánicas).

Para su modelado contamos con planos no acotados de la pala y del eje transmisor de la hélice, de los que podemos obtener la escala mediante el diámetro mayor del spinner (también apreciable en el plano). Una vez tenemos la escala de la hélice, obtenemos también la del eje transmisor (es la mitad) y hacemos tantas medidas como sea necesario para completar el conjunto correctamente.

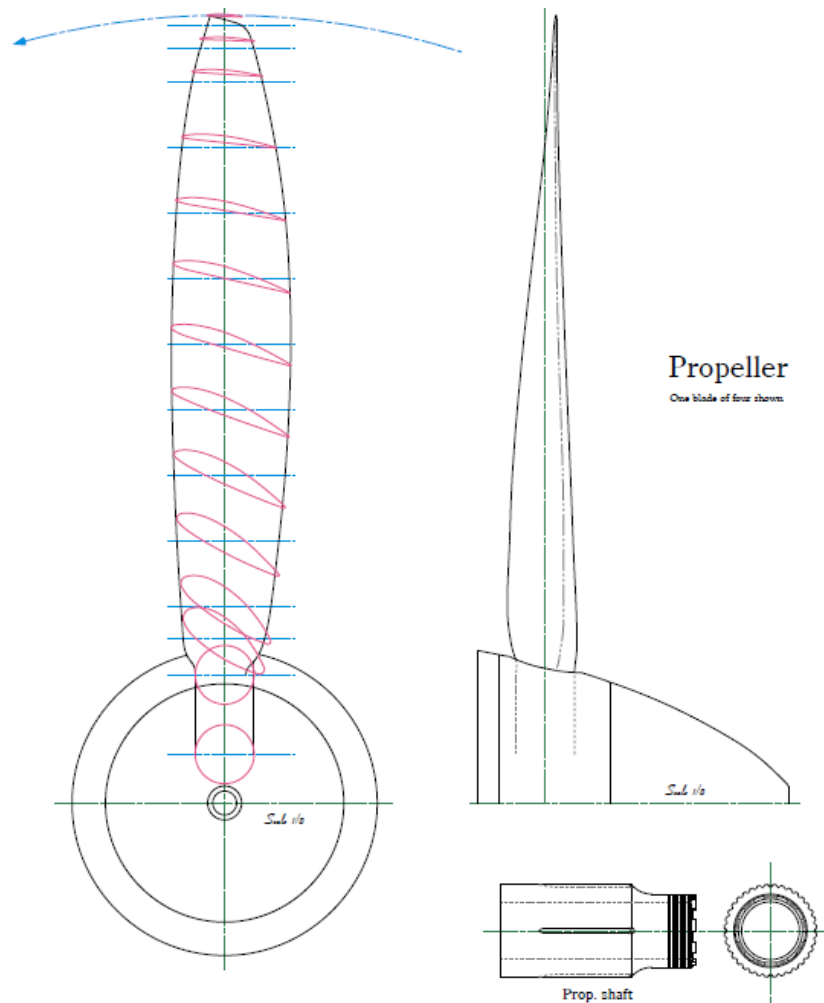


Figura 5-244. Planos hélice y eje transmisor de ésta

La hélice queda dividida en 3 grandes grupos:

1. **Eje transmisor de la hélice:** Realizamos una primera operación *Pad* para generar un cilindro de diámetro 89.28 mm y longitud 133.92 mm y una segunda (sobre la superficie del cilindro, longitud 94.24 mm) junto con *Circular Pattern* (36 repeticiones, cada 10°) para hacer el engranaje que permite el giro de las palas.

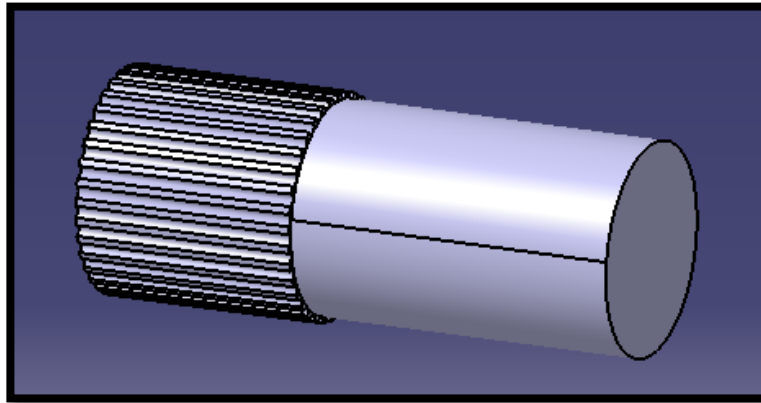


Figura 5-245. Hélice: primer paso para el modelado del eje transmisor

Proseguimos con una operación *Multi-sections Solid* que une la sección final del cilindro anterior con una circunferencia de diámetro 74.4 mm situada a 19.84 mm (concéntrica). Añadimos un nuevo cilindro de diámetro igual a la sección anterior y longitud 44.64 mm, sobre el que se hace un roscado con la operación *Slot* que tiene como curva guía una hélice que ocupa algo más de la mitad del cilindro (24.8 mm). Para finalizar, añadimos sobre la base del último cilindro modelado una pequeña pieza que repetimos por *Circular Pattern* 9 veces (separación angular 40°).

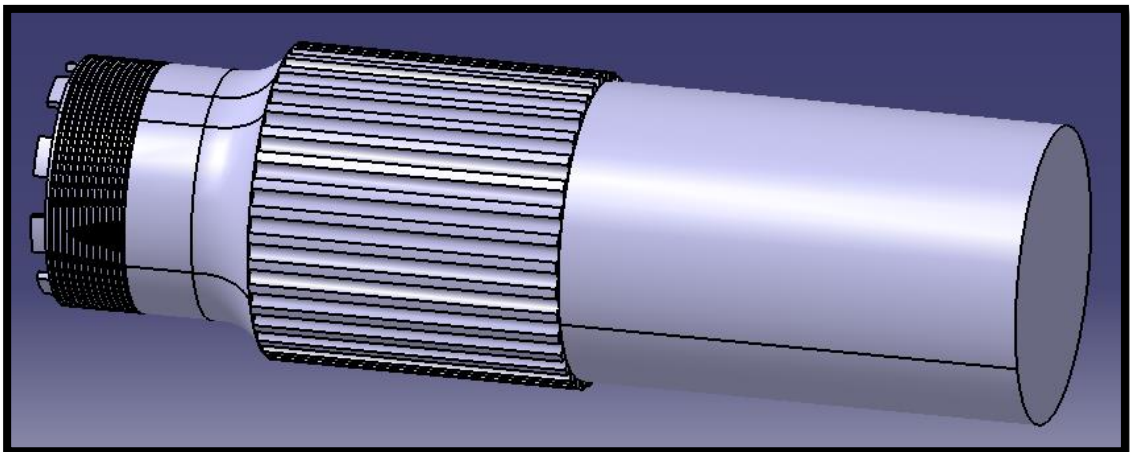


Figura 5-246. Hélice: Eje transmisor finalizado

2. **Palas de la hélice:** Parte compleja de modelar, puesto que las secciones deben cumplir unas medidas muy precisas para obtener una superficie regular y que se aproxime a la real. Debido al procedimiento que seguimos para obtener las medidas, estas deben estar sujetas a un continuo proceso de ajuste, hasta que obtenemos la pala de acuerdo a las especificaciones de diseño requeridas.

El proceso se basa en realizar las diferentes secciones (usamos 10) de la pala más las guías que estas deben seguir y finalmente usarlas para realizar un sólido por operación *Multi-sections*.

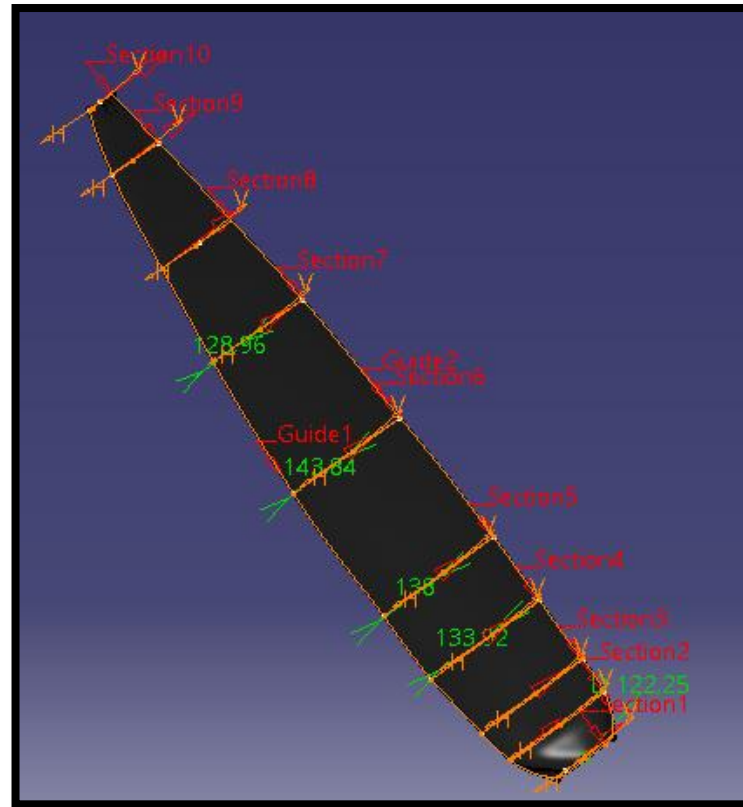


Figura 5-247. Hélice: Operación Multi-sections Solid para la obtención de la pala

Como continuación a la parte baja de la pala se le acopla un cilindro de diámetro 122.25 mm y longitud 166.26 mm. Para finalizar realizamos la punta de la pala (en el módulo de superficies, aunque cerrando estas para hacer un cuerpo sólido) de acuerdo a 3 operaciones: *Blend* y 2 *Fill*.

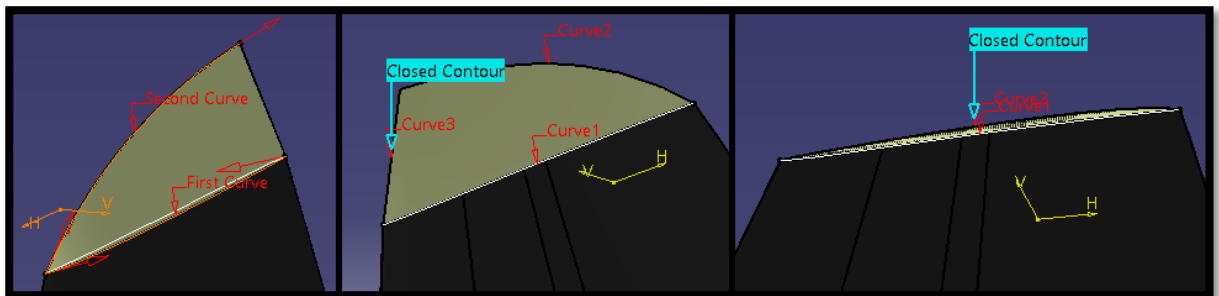


Figura 5-248. Hélice: Operaciones para modelar la punta de la pala

3. **Estructura para fijar las palas:** Esta pieza la añadimos, puesto que sabemos que es necesaria para el correcto funcionamiento del sistema, pero no contamos con ninguna información acerca de ella, la modelamos intuyendo cuál debería ser su forma.

Comenzamos realizando un cilindro hueco de longitud 130 mm, diámetro exterior 195 mm e interior 171 mm. Centrado en el interior de este realizamos un nuevo cilindro de longitud 90 mm, diámetro exterior 171 mm e interior 88.28 mm. Por encima de este diámetro interior realizamos un vaciado (para el engranaje) que repetimos por *Circular Pattern* (36 repeticiones con espacio angular 10°).

Posteriormente haremos otro cilindro hueco (por *Circular Pattern* aumentamos a 4 componentes con espacio angular 90°) de longitud 80 mm, diámetro exterior 15 mm e interior 8 mm, cuyo centro forma 45° con el eje vertical y en contacto con la superficie exterior del primer cilindro modelado. Para finalizar esta primera parte realizamos un corte a toda la estructura con *Pocket* de 1 mm de profundidad (0.5 mm a cada lado del medio).

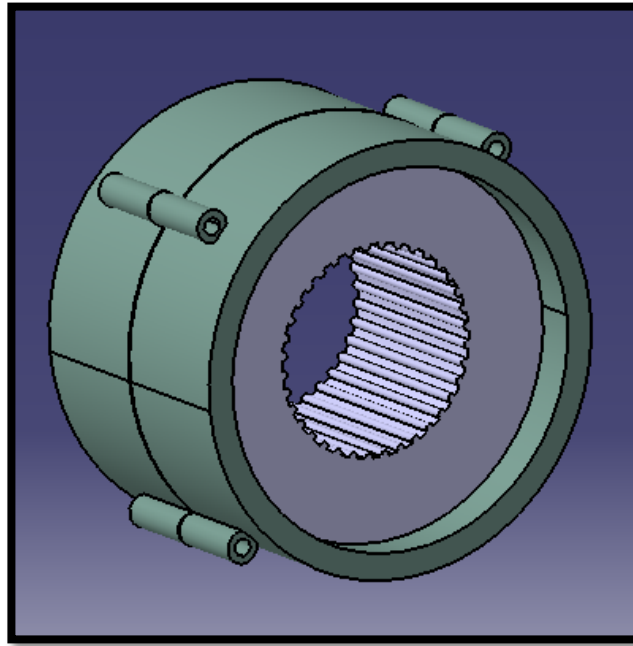


Figura 5-249. Hélice: Primera parte de la estructura de fijación de las palas

A continuación añadimos 4 sujeciones (1 para cada cilindro anterior) cuyo cuerpo es un cilindro de diámetro 7 mm y longitud 82 mm y sus cabezas un círculo de diámetro 10 mm. Para finalizar, mediante la operación booleana *Union trim* añadimos a esta estructura 4 cilindros huecos (2 verticales y 2 horizontales) de iguales características: longitud 84 mm, diámetro exterior 129.25 mm e interior 123.25 mm.

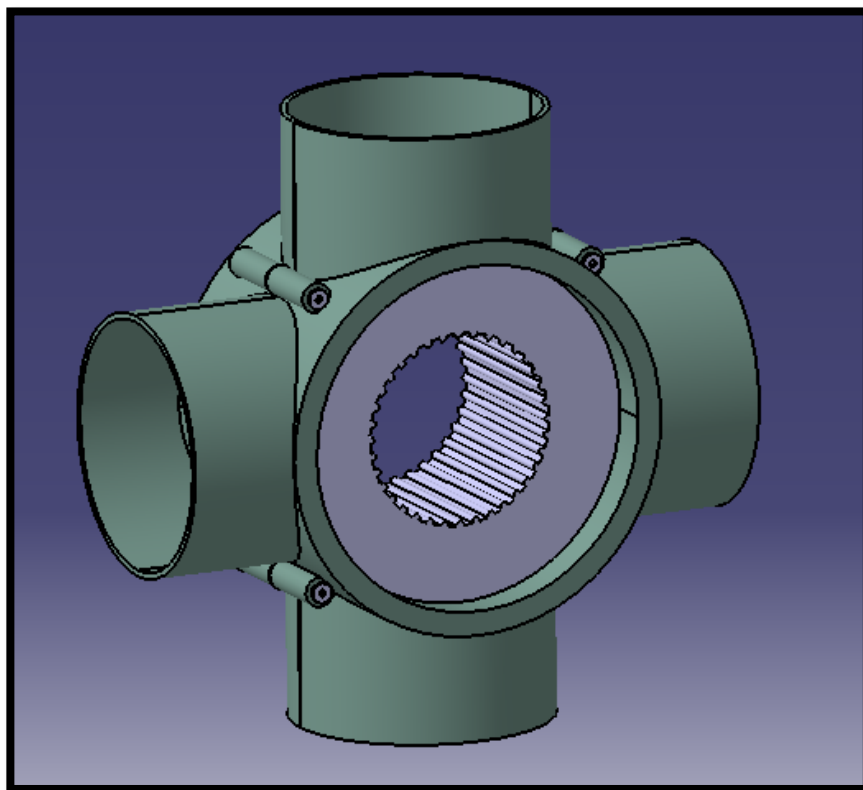


Figura 5-250. Hélice: Estructura de fijación de las palas finalizada

5.2.6 Resultado final

El proceso de ensamblaje es similar al caso del fuselaje:

1. Fijamos las secciones: en este caso el nombre de la sección es la distancia en pulgadas que separa al plano zx de cada sección del de la sección 0", mientras que xy e yz se mantienen a *Offset* 0.
2. Fijamos los planos coordenados de la cubierta y trabajamos en el entorno del conjunto Cowlings adaptándonos a la posición que esta debe tomar.
3. En el caso del spinner y la hélice primero modelamos la pieza en cuestión para luego fijarlas. El eje del cilindro de la base de las palas de la hélice debe coincidir con el eje de los agujeros laterales del spinner. Por otra parte, en el spinner hacemos coincidir el eje de la circunferencia de su base con el eje de la sección 0" (recordemos que es circular) y que la distancia de esta base con respecto al plano anterior de la misma sección sea de 0 mm.

Mostramos figuras comparativas de fotografías reales de esta parte y nuestro modelo realizado en CATIA.

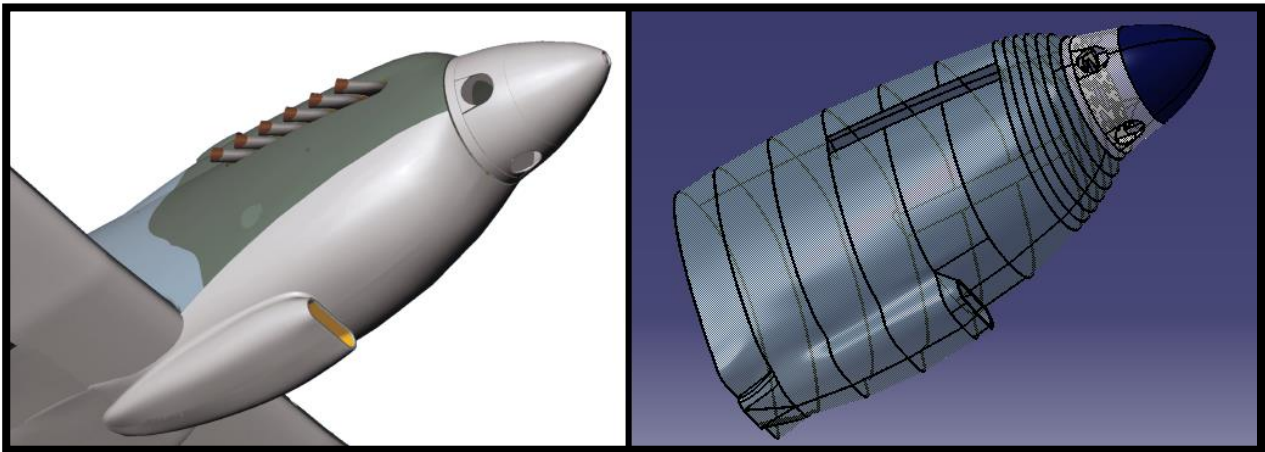


Figura 5-251. Cowlings: Reproducción virtual del libro frente a nuestro modelo (sin palas)



Figura 5-252. Cowlings: Imagen real del libro frente a nuestro modelo (sin cubierta)

5.3 Canopy

Es el recinto transparente sobre la cabina que existe en algunos tipos de aviones. La función de esta cubierta es proporcionar un ambiente resistente a la intemperie y razonablemente tranquilo para los ocupantes de la aeronave. En nuestro caso, al tratarse de un caza de guerra, debe ser seguro para el piloto suponiendo la mayor resistencia posible a impacto. La cubierta será tan aerodinámicamente conformada como sea posible para minimizar la resistencia aerodinámica.

Contamos con planos no acotados, que escalamos en base a dimensiones de referencia (como la distancia entre costillas 11 y 12) para poder realizar sucesivas medidas con el fin de reproducir los componentes correctamente.

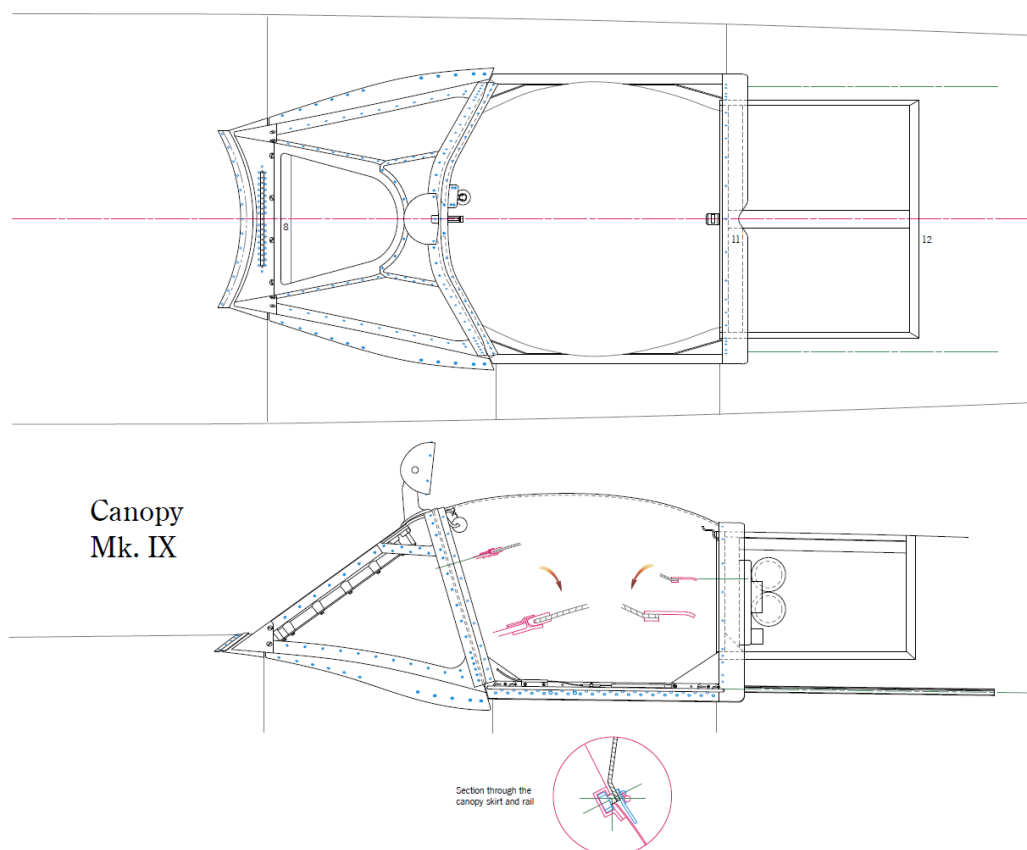


Figura 5-253. Canopy (conjunto completo): planos

5.3.1 Windscreen canopy

Se trata de la parte fija de este conjunto que en español conocemos comúnmente como parabrisas. El cristal blindado frontal se encuentra en la parte interna para garantizar la menor resistencia aerodinámica posible (a ras con la parte externa). Este último cuenta con un espesor de 6 mm por los 3 mm del resto de cristales.

El proceso de modelado se realiza íntegramente en el módulo de superficies. La principal tarea a realizar dentro de este proceso es la correcta identificación de los planos donde vamos a realizar los perfiles de las piezas a extrudir. Una vez hecho esto el proceso es repetitivo, realizamos el *Sketch* con la forma del perfil, le damos espesor con la orden *Volume extrude* o *Thick Surface* (dependiendo del caso) y unimos a lo anteriormente realizado mediante la operación booleana *Union trim*. Solo algunas partes, como el cristal superior, se realizan mediante otro tipo de operación, como *Fill* o *Blend*, seguida de *Thick Surface*.

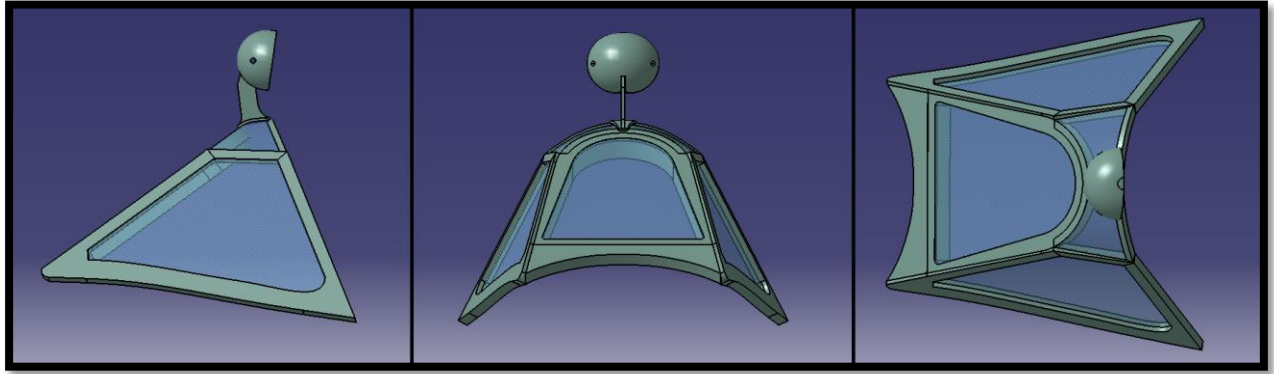


Figura 5-256. Windscreen en nuestro modelo

5.3.2 Sliding hood

A diferencia de la anterior, esta es una parte móvil o cubierta deslizante, que abre el piloto para acceder a la cabina y que cierra para sellarla en vuelo.

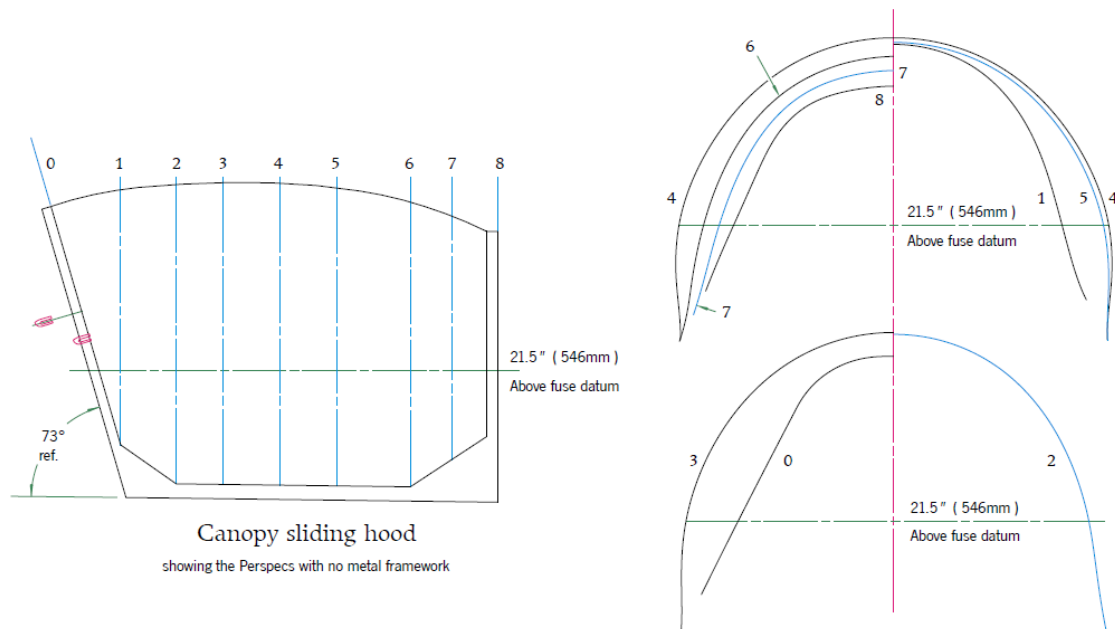


Figura 5-257. Sliding Hood: planos

Los planos con los que contamos muestran especial atención en las diferentes secciones de la parte de cristal de este componente. Por tanto, basaremos nuestro modelado en primera instancia en dibujar todas estas secciones y unirlos mediante la operación *Multi-sections Surface* (seguida de *Thick Surface*, espesor 4 mm). Haremos uso de 3 operaciones *Multi-sections Surface*, por problemas con la tangencia y continuidad, que acoplamos por *Join*.

Para la realización de las partes metálicas, igualmente trabajaremos en el módulo de superficies, haciendo las partes anterior y posterior por dos operaciones *Multi-sections Surface* de dos secciones, la última correspondiente al cristal por cada lado y una más que añadimos en cada caso. Por el contrario, las partes laterales la realizamos mediante tres operaciones *Fill* creando tres contornos cerrados (contiguos al cristal).

Una vez realizada la cubierta entera y colocada en el conjunto correspondiente, nos vemos obligados a añadir una nueva superficie para garantizar el sellado de la cabina. Podemos observarla en la última imagen de la figura a continuación.



Figura 5-258. Sliding Hood: secuencia del proceso de modelado

Para finalizar añadimos otro cuerpo que hará las veces de pieza que se desliza por el raíl para el deslizamiento de la cubierta.

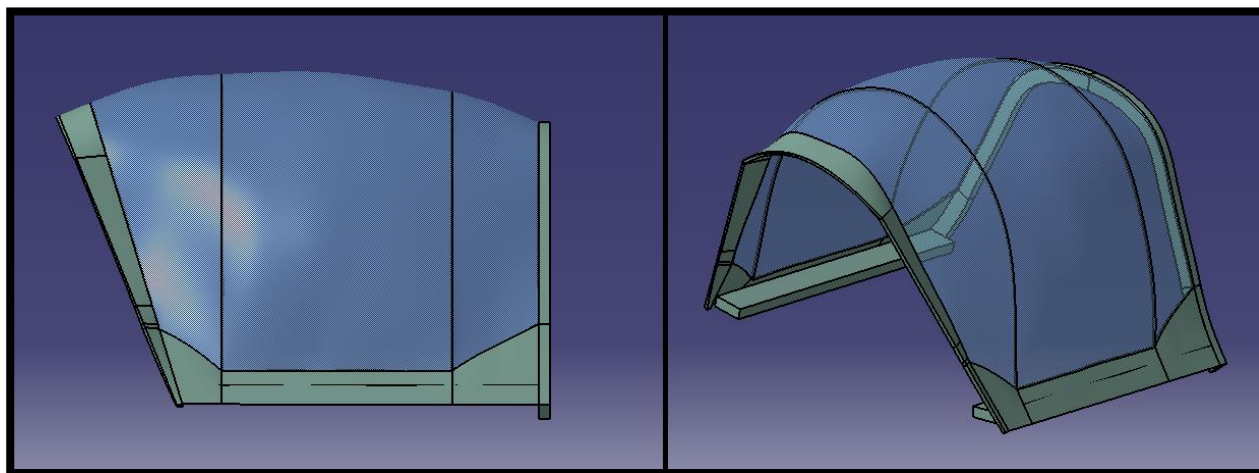


Figura 5-259. Sliding Hood en nuestro modelo

5.3.3 Resultado final

Para finalizar analizaremos el modelado de esta parte mediante la comparación con imágenes reales de la misma. Podremos observar una gran similitud que pone de manifiesto que el proceso de recreación ha sido correcto (facilitado en gran parte por los detallados planos).

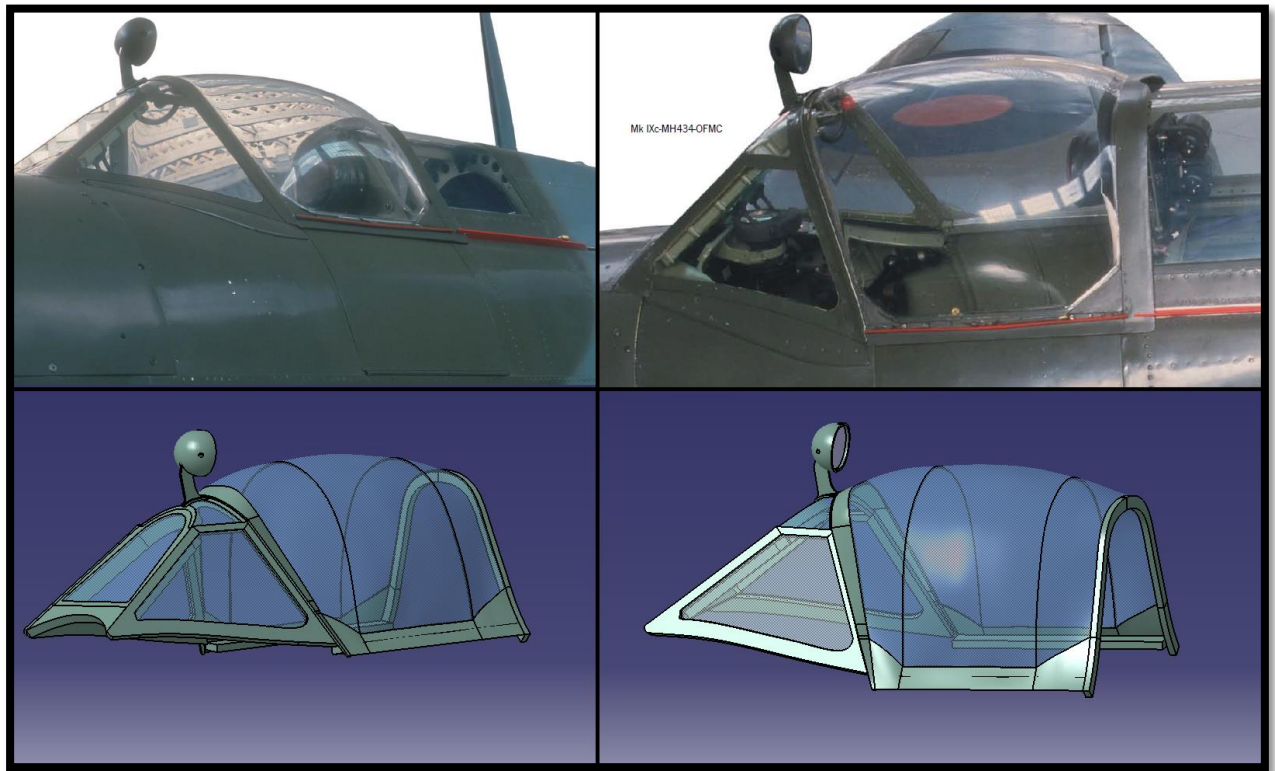


Figura 5-260. Canopy: Imágenes reales frente al modelo 3D

5.4 Cola

Se trata de la parte posterior del avión donde se sitúan el estabilizador horizontal (encargado de controlar el movimiento de cabeceo del avión por movimiento del timón de profundidad) y el vertical (encargado de controlar el movimiento de guiñada por movimiento del timón de dirección).

Es un conjunto de planos aerodinámicos situados para tener poco o ningún impacto cuando el avión vuela en crucero y que genera la fuerza necesaria para estabilizar el avión en caso de una perturbación en el equilibrio.

El proceso de modelado y los planos seguidos serán diferentes para cada parte que tratemos.

5.4.1 Fin fuse

Es la continuación del fuselaje, de ahí su nombre. Por tanto, seguiremos un proceso similar a la hora de modelarlo y que, recordemos, se basaba en la proyección de puntos de las diferentes secciones (obtenidos de una tabla del libro; Figuras 5-2 y 5-3) mediante una macro.

Una vez obtenidos los puntos pasamos a la realización de cada una de las secciones (19, 20, 21, 22 y EOP⁹) actuando en este caso análogamente a las secciones de Cowlings. Esto se debe a que se trata de secciones vacías (en el fuselaje teníamos diferentes costillas), por lo que nos limitaremos a realizar una operación *Rib* (con curva guía el contorno dibujado por *Spine* siguiendo los puntos proyectados y perfil rectangular de dimensiones 2 x 10 mm).

⁹ EOP: End of part

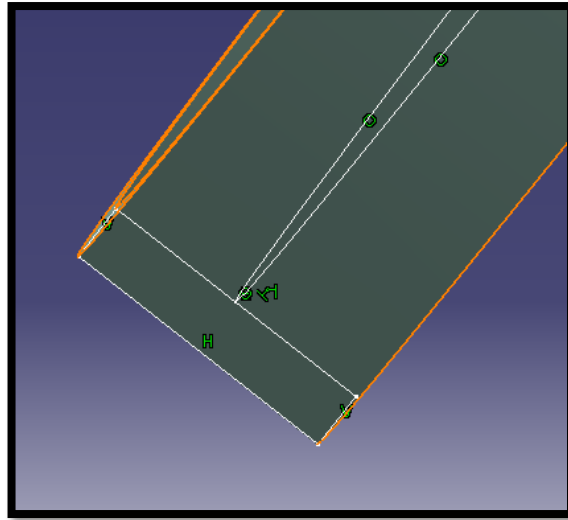


Figura 5-261. Fin fuse: perfil utilizado en las operaciones Rib

Una vez situadas correctamente en el espacio (distancia entre planos xy nula, distancia entre planos yz nula, distancia entre planos zx según se requiera), procedemos al modelado de la cubierta exterior. Para ello seguimos un proceso muy similar a cubiertas exteriores modeladas con anterioridad, trabajando en el módulo de superficies. El primer paso es extraer (*Extract*) las superficies externas del contorno dibujado con *Rib* para cada sección. Una vez hecho esto procedemos a la unión de las diferentes secciones mediante la operación *Multi-sections Surface* (lo más habitual) o *Fill* (por alguna particularidad).

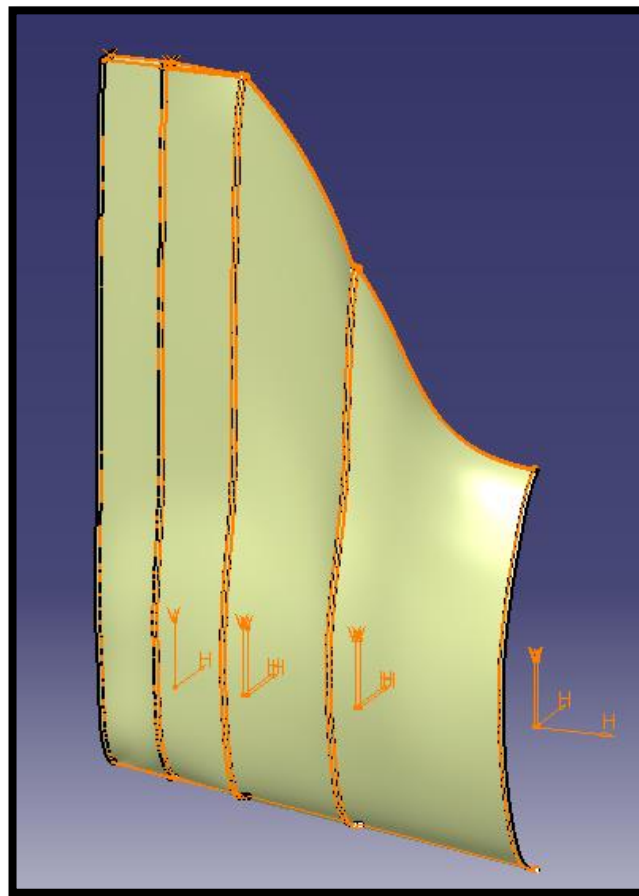


Figura 5-262. Fin fuse: operaciones Multi-sections Surface y Fill, con guías y secciones marcadas

Mediante *Thick Surface* le damos un espesor de 0.711 mm.

Por último, debemos hacer un nuevo componente en la cubierta que nos sirva como unión con el estabilizador

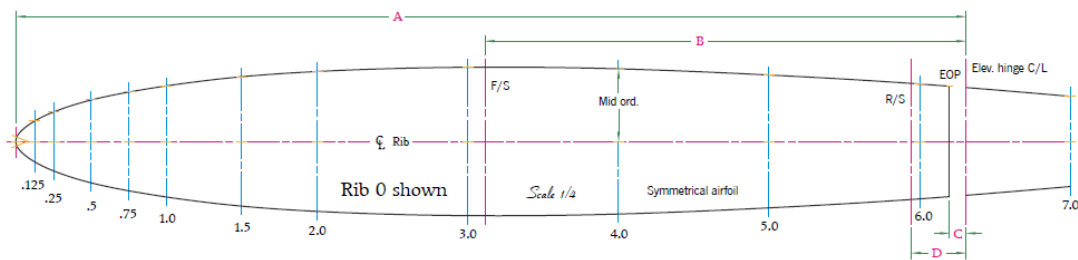
horizontal, teniendo en cuenta la sección final de este (espesor 0.914 mm).



Figura 5-263. Unión Fin Fuse – Estabilizador horizontal

5.4.2 Estabilizador horizontal

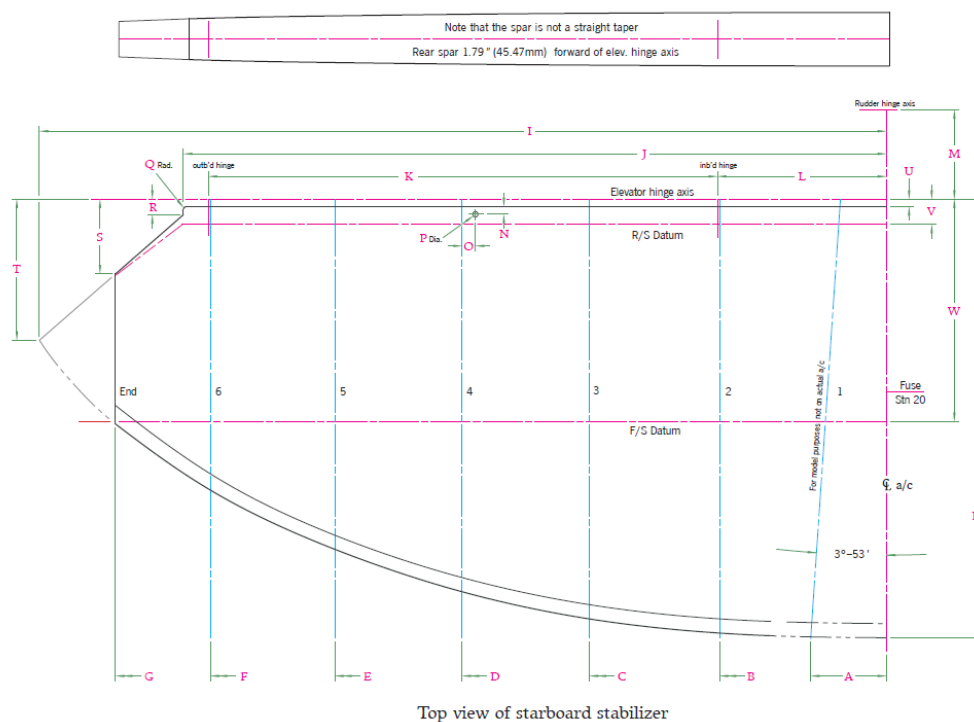
Para el caso del estabilizador horizontal el libro nos da unas pautas para el modelado basadas en la reproducción de secciones por planos paralelos al yz. Como podemos ver en la Figura 5-264, contamos con una tabla con diferentes parámetros explicados mediante la imagen de una sección genérica.



| Table 6.46 - 2 | | | | | | | Horizontal stabilizer rib ordinates | | | | | | | | | | | | Metric measurements (mm) | | | | | | | | | |
|----------------|--------|---------|------------|--------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Station | A | Chord | L/E Radius | B | C | D | Ordinate | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | | | | | | | | | |
| 0 | 787.40 | 1248.16 | 9.91 | 398.78 | 13.72 | 45.47 | Dist. from L/E | 15.60 | 31.20 | 62.41 | 93.61 | 124.82 | 187.22 | 249.63 | 374.45 | 499.36 | 624.08 | 748.89 | 873.71 | | | | | | | | | |
| a/c C/L | | | | | | | Mid ord. OML | 16.76 | 24.38 | 34.29 | 40.89 | 45.97 | 53.59 | 57.91 | 61.47 | 60.20 | 55.12 | 47.50 | 37.34 | | | | | | | | | |
| 2 | 779.02 | 1236.47 | 9.91 | | | | Dist. from L/E | 15.46 | 30.91 | 61.82 | 92.74 | 123.65 | 185.47 | 247.29 | 370.94 | 494.59 | 618.24 | 741.88 | 865.53 | | | | | | | | | |
| 299.72 | | | | | | | Mid ord. OML | 16.51 | 24.13 | 33.78 | 40.13 | 45.47 | 53.09 | 57.40 | 60.96 | 59.18 | 54.36 | 46.99 | 36.83 | | | | | | | | | |
| 3 | 753.62 | 1201.17 | 9.65 | | | | Dist. from L/E | 15.01 | 30.03 | 60.06 | 90.09 | 120.12 | 180.17 | 240.23 | 360.35 | 480.47 | 600.58 | 720.70 | 840.82 | | | | | | | | | |
| 533.40 | | | | | | | Mid ord. OML | 16.26 | 23.37 | 32.77 | 39.12 | 44.20 | 51.56 | 55.88 | 59.18 | 58.17 | 52.83 | 45.72 | 36.07 | | | | | | | | | |
| 4 | 704.85 | 1137.41 | 9.14 | | | | Dist. from L/E | 14.22 | 28.44 | 56.87 | 85.31 | 113.74 | 170.61 | 227.48 | 341.22 | 454.96 | 568.71 | 682.45 | 796.19 | | | | | | | | | |
| 762.00 | | | | | | | Mid ord. OML | 16.26 | 22.35 | 30.99 | 37.08 | 41.91 | 48.77 | 52.83 | 56.13 | 54.86 | 50.04 | 43.18 | 34.04 | | | | | | | | | |
| 5 | 628.65 | 1035.81 | 8.38 | | | | Dist. from L/E | 12.95 | 25.90 | 51.79 | 77.69 | 103.58 | 155.37 | 207.16 | 310.74 | 414.32 | 517.91 | 621.49 | 725.07 | | | | | | | | | |
| 990.60 | | | | | | | Mid ord. OML | 14.73 | 20.57 | 28.45 | 33.78 | 38.10 | 44.70 | 48.26 | 51.31 | 50.29 | 45.72 | 39.37 | 30.73 | | | | | | | | | |
| 6 | 521.21 | 891.29 | 8.38 | | | | Dist. from L/E | 11.14 | 22.28 | 44.56 | 66.85 | 89.13 | 133.69 | 178.26 | 267.39 | 356.51 | 445.64 | 534.77 | 623.90 | | | | | | | | | |
| 1214.12 | | | | | | | Mid ord. OML | 12.45 | 17.78 | 24.64 | 29.21 | 32.77 | 38.35 | 43.69 | 43.94 | 43.18 | 39.62 | 34.29 | 27.94 | | | | | | | | | |
| End rib | 403.86 | 716.79 | 5.84 | | | | Dist. from L/E | 8.96 | 17.92 | 35.84 | 53.76 | 71.68 | 107.52 | 143.36 | 215.04 | 286.72 | 358.39 | 430.07 | 501.75 | | | | | | | | | |
| 1384.30 | | | | | | | Mid ord. OML | 9.91 | 13.97 | 19.56 | 23.37 | 26.67 | 30.73 | 33.27 | 35.31 | 34.80 | 31.75 | 27.43 | 22.35 | | | | | | | | | |
| Station | A | Chord | L/E Radius | B | C | D | Ordinate | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | | | | | | | | | |

Figura 5-264. Estabilizador horizontal: Plano y tabla de secciones

Para colocarlas en el espacio contamos con los siguientes planos que también nos muestran la posición del eje de giro del timón de profundidad y particularidades en las superficies de unión entre secciones contiguas.



| Horizontal stabilizer | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Table 6.45 - 1 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
| inches | 5.35 | 11.80 | 21.00 | 30.00 | 39.00 | 47.80 | 54.50 | 31.00 | 59.88 | 49.70 | 36.00 | 11.95 | 6.30 | 0.53 | 0.94 | 0.375 | 0.1875 |
| mm | 135.89 | 299.72 | 533.40 | 762.00 | 990.60 | 1214.12 | 1384.30 | 787.40 | 1520.95 | 1262.38 | 914.40 | 303.53 | 160.02 | 13.46 | 23.88 | 9.53 | 4.76 |
| | R | S | T | U | V | W | | | | | | | | | | | |
| inches | 1.10 | 5.28 | 9.97 | 0.54 | 1.79 | 15.70 | | | | | | | | | | | |
| mm | 27.94 | 134.11 | 253.24 | 13.72 | 45.47 | 398.78 | | | | | | | | | | | |

Figura 5-265. Estabilizador horizontal: Plano general

Como soporte para la cubierta del estabilizador, haremos en cada sección (a excepción de la 0) una operación *Rib* con las características que se muestran en la imagen a continuación. Cabe destacar el hecho de que las secciones inicial y final (1 y EndRib) tienen la mitad de espesor, es decir, la mitad que queda en el interior de la cubierta.

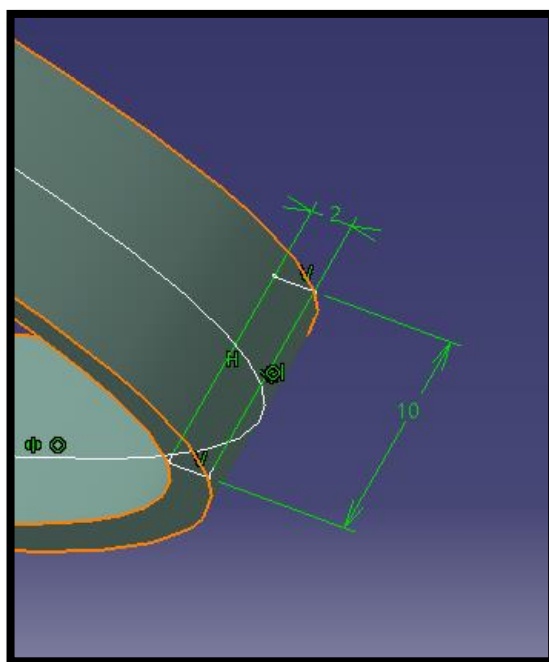


Figura 5-266. Estabilizador horizontal: características de la operación Rib

Una vez quedan modeladas todas las secciones, las colocamos correctamente en el espacio, para el posterior

modelado de la cubierta externa.

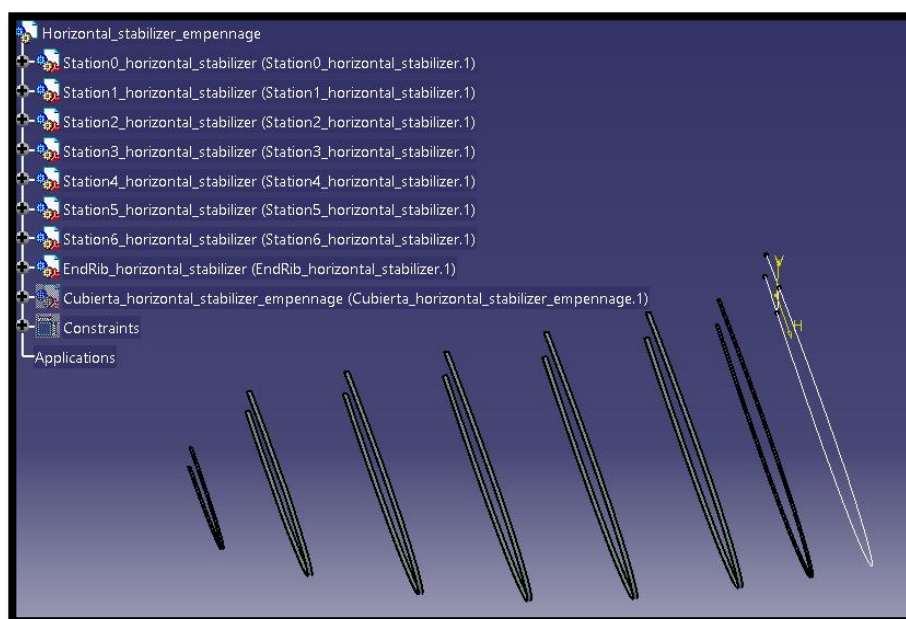


Figura 5-267. Estabilizador horizontal: secciones en el entorno del conjunto

El proceso de modelado de la cubierta es muy similar al que hemos seguido para superficies de características similares. De esta manera mediante *Extract* tomamos la superficie externa de cada sección que nos servirá como referencia a la hora de realizar operaciones de *Multi-sections Surface* (entre cada dos secciones). Le damos un espesor de 0.711 mm y posteriormente realizamos los vaciados convenientes (entre las secciones 0 y 1 y las secciones 6 y EndRib). Para finalizar cubrimos las superficies convenientes con la operación *Fill*, obteniendo el siguiente resultado.

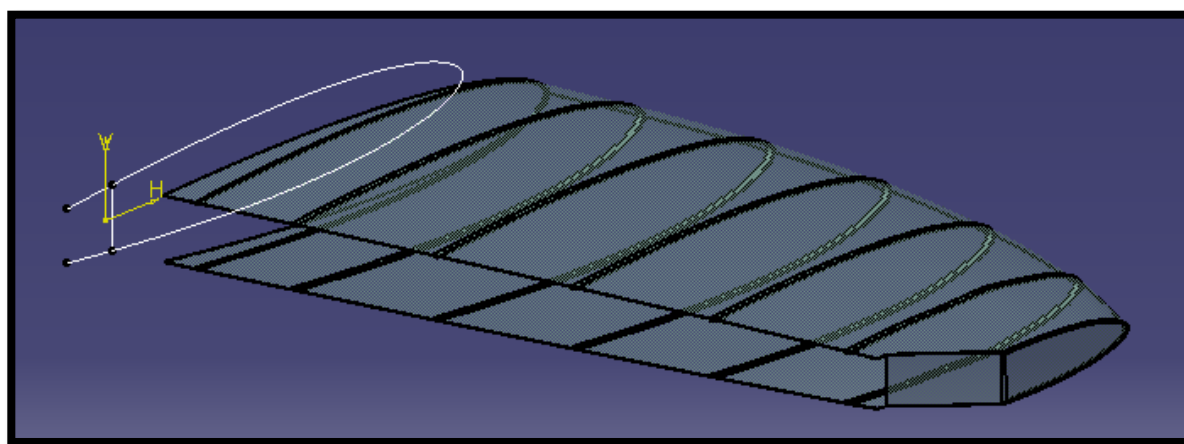


Figura 5-268. Estabilizador horizontal finalizado

5.4.3 Timón de profundidad

El modelado a grandes rasgos sigue las pautas seguidas en el estabilizador, partiendo de la similitud de los planos disponibles.

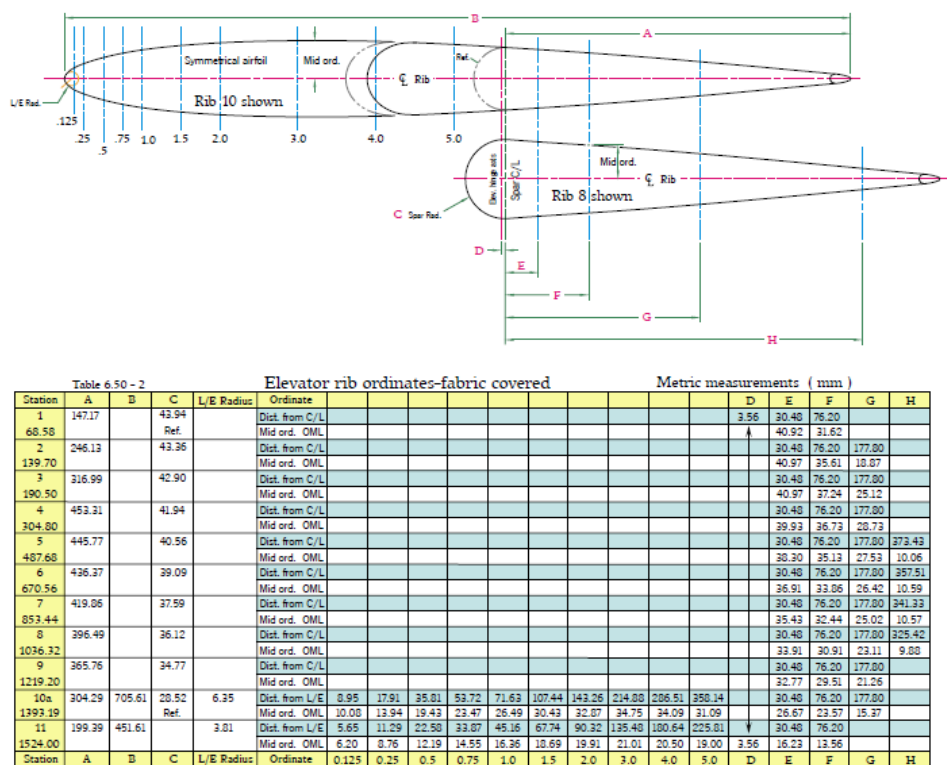


Figura 5-269. Timón de profundidad: Plano y tabla de secciones

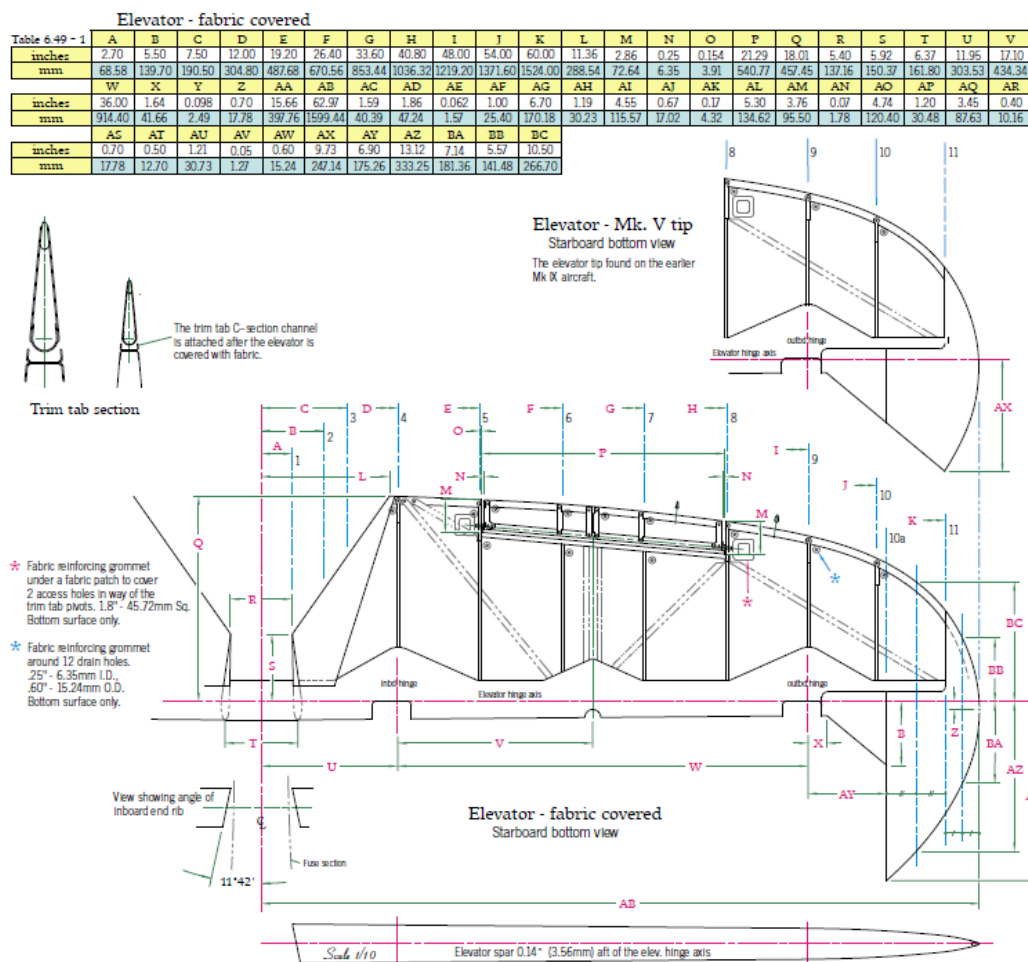


Figura 5-270. Timón de profundidad: Plano general

La operación *Rib* que seguimos en cada sección es de iguales características a la del estabilizador horizontal

(rectángulo de 10 x 2 mm). No obstante, en este caso añadimos una estructura de barras internas que sirven como refuerzos y para cuyo modelado nos basamos en documentación fotográfica que nos proporciona el libro de Monforton.

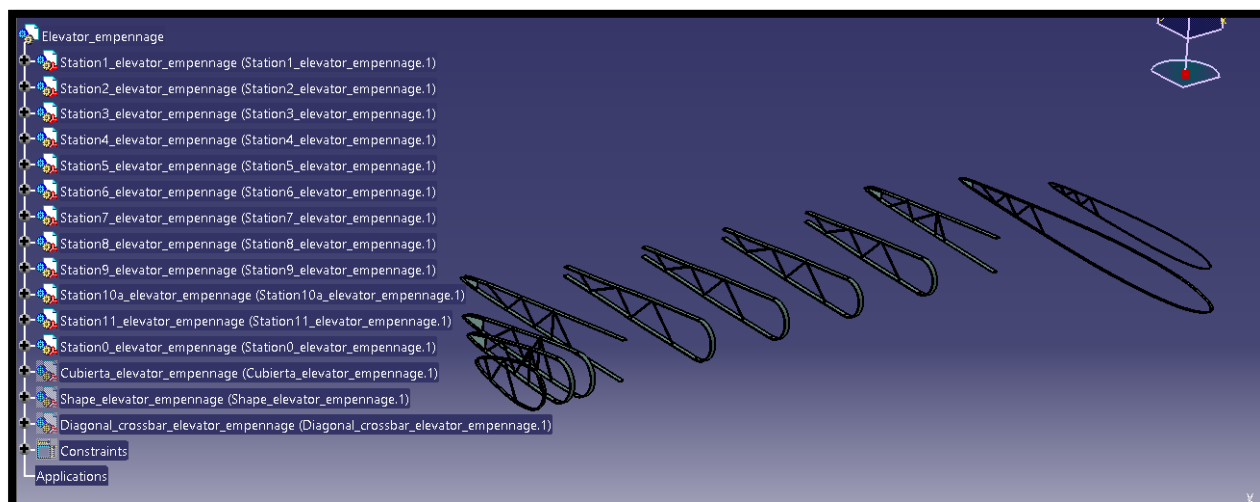


Figura 5-271. Timón de profundidad: secciones en el entorno del conjunto

El paso que sigue es la realización de las superficies de unión entre secciones mediante *Multi-sections Surface* y *Thick Surface* para darle un grosor de 2 mm. Posteriormente con *Blind* y *Fill* tapamos todo aquello que deba quedar convenientemente sellado. También creamos el eje de giro que seguirá en su movimiento respecto del estabilizador horizontal.

Por último, añadimos una chapa intermedia que recorre la cavidad interna del timón de profundidad, así como una serie de barras diagonales que ejercen la función de transmisoras de cargas y tensiones.

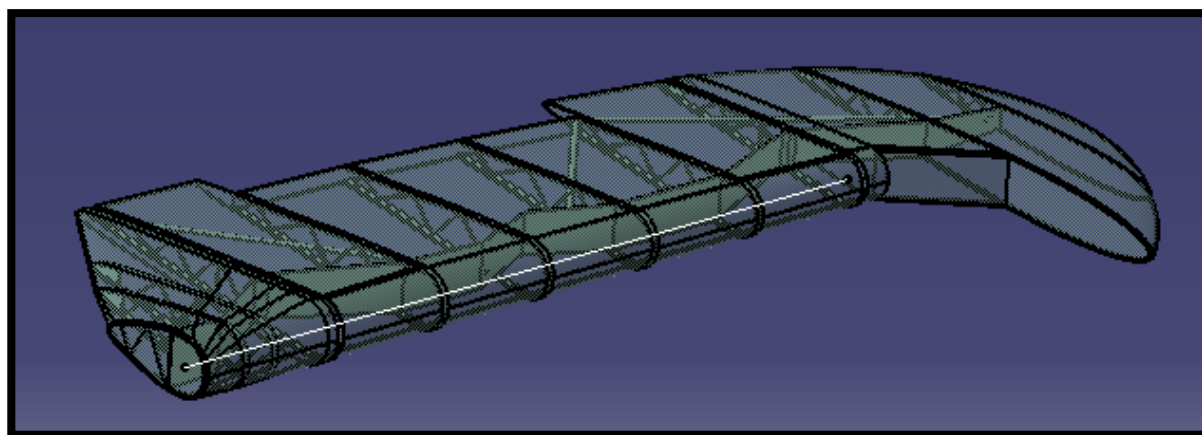


Figura 5-272. Timón de profundidad finalizado

5.4.4 Timón de dirección

En este caso tenemos la opción de elegir entre dos modelos: *Standard chord rudder* o *broad chord rudder*.

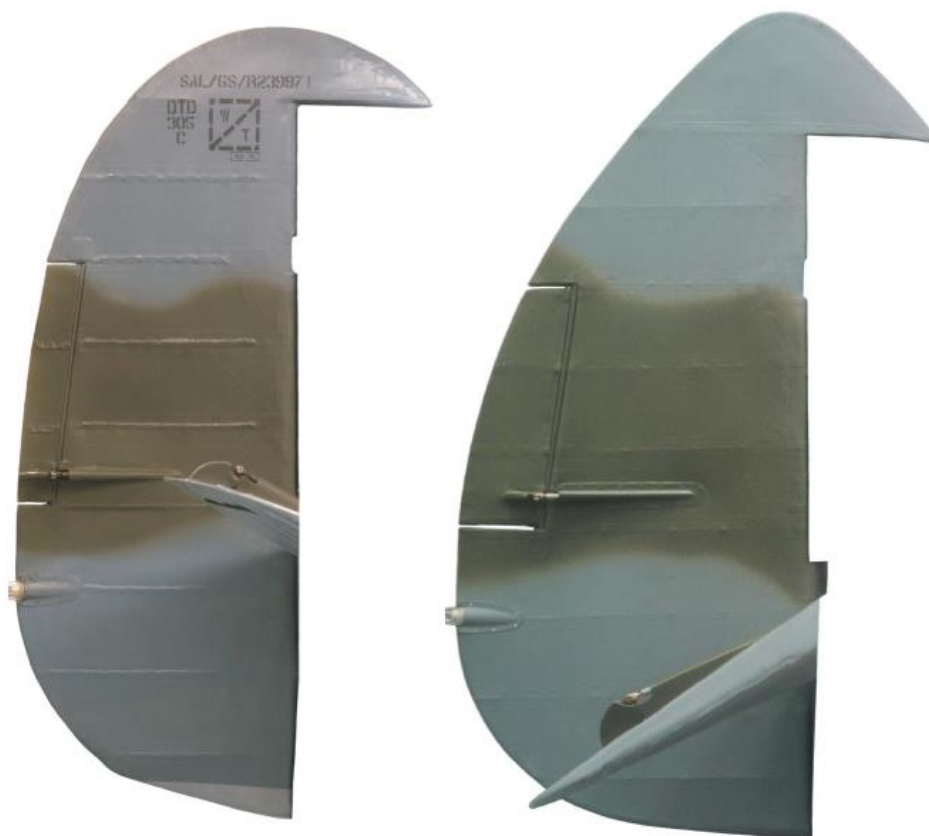
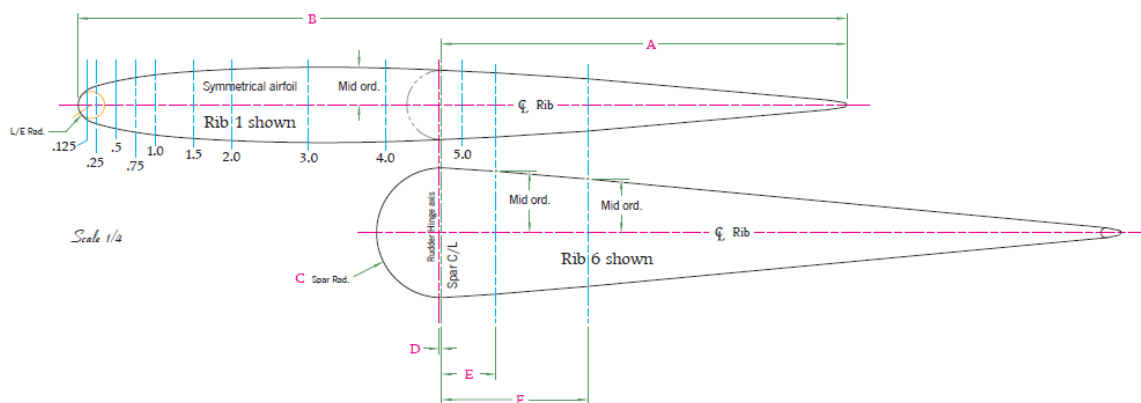


Figura 5-273. Timón de dirección: Standard vs Broad

Nos decantamos por el modelo *Standard*, puesto que es el más habitual en los ejemplares de Spitfire Mk IX.



| Table 6.23 - 2 | | | | | Standard chord rudder rib ordinates | | | | | | | | | | Metric measurements (mm) | | | | | |
|----------------|--------|--------|-------|------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|----------------------------|------|-------|--------|---|--|
| Station | A | B | C | L/E Radius | Ordinate | 0.125 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | D | E | F | | |
| 1 | 323.34 | 613.54 | 27.66 | 10.67 | Dist. from L/E | 7.67 | 15.34 | 30.68 | 46.02 | 61.35 | 92.03 | 122.71 | 184.06 | 245.41 | 306.77 | 1.78 | 43.69 | 116.84 | | |
| 1304.29 | | | Ref. | | Mid ord. OML | 11.71 | 14.86 | 18.85 | 21.79 | 23.98 | 26.72 | 28.45 | 30.05 | 29.41 | 26.87 | | 25.60 | 20.88 | | |
| 2 | 424.94 | | 35.15 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 1146.81 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 33.35 | 29.03 | | |
| 3 | 482.09 | | 43.13 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 979.17 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 41.61 | 37.74 | | |
| 4 | 515.04 | | 46.02 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 811.53 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 44.07 | 39.45 | | |
| 5 | 532.92 | | 48.90 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 643.89 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 46.53 | 41.12 | | |
| 6 | 542.62 | | 51.77 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 476.25 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 49.00 | 42.82 | | |
| 7 | 543.79 | | 54.66 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 308.61 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 51.46 | 44.53 | | |
| 8 | 505.66 | | 54.56 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| 140.97 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 51.18 | 43.59 | | |
| 9 | 386.89 | | 36.83 | | Dist. from C/L | | | | | | | | | | | | 43.69 | 116.84 | | |
| - 26.67 | | | | | Mid ord. OML | | | | | | | | | | | | 1.78 | 35.20 | | |
| Station | A | B | C | L/E Radius | Ordinate | | | | | | | | | | | | D | E | F | |

Figura 5-274. Timón de dirección: Plano y tabla de secciones

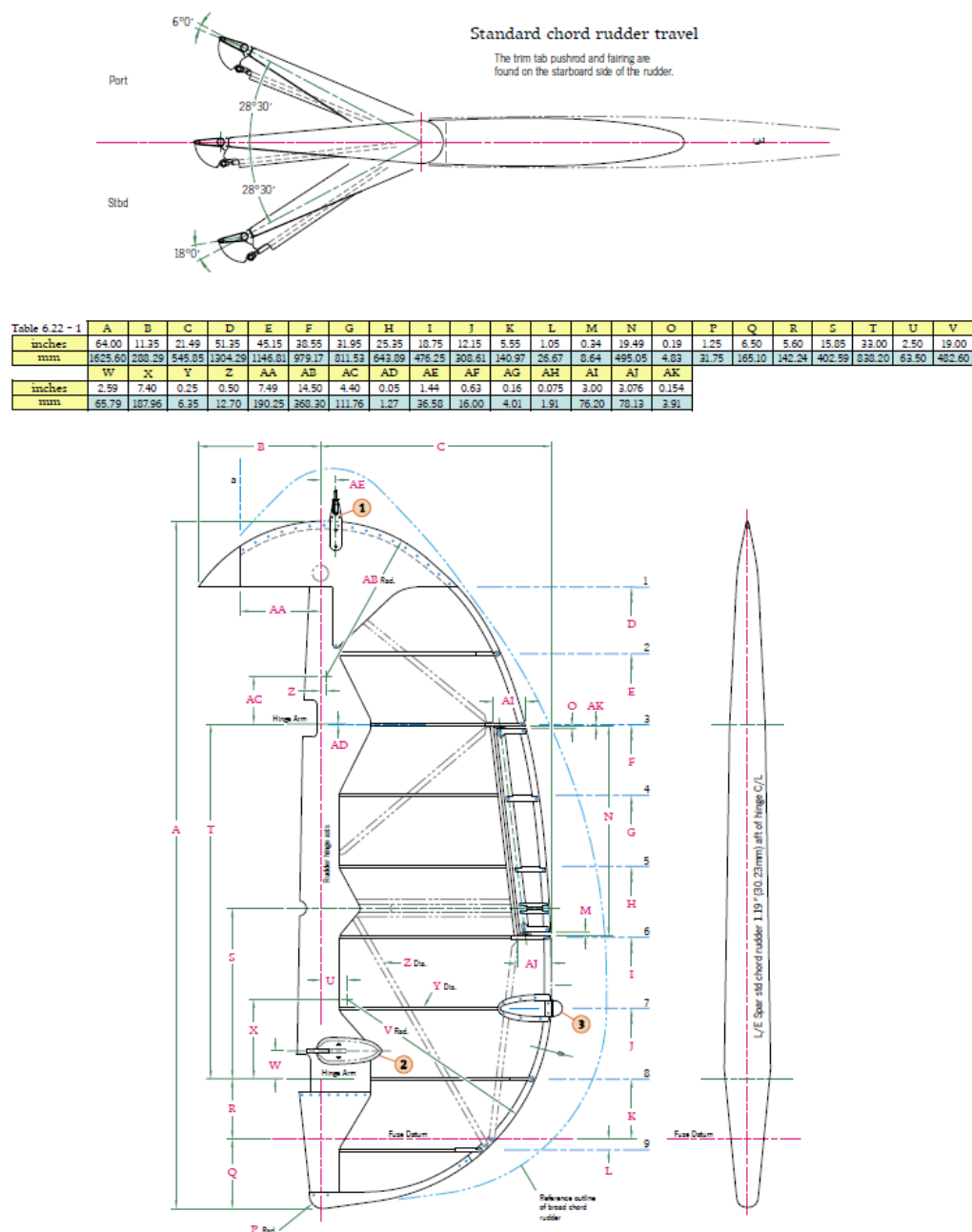


Figura 5-275. Timón de dirección: plano general

Para la reproducción de esta pieza seguimos la misma dinámica expuesta hasta ahora. Para cada sección debemos hacer una operación *Rib* cuyo perfil a seguir será esta vez una circunferencia con diámetro variable entre 2.5 y 3 mm, dependiendo de la sección (Figura 5-276).

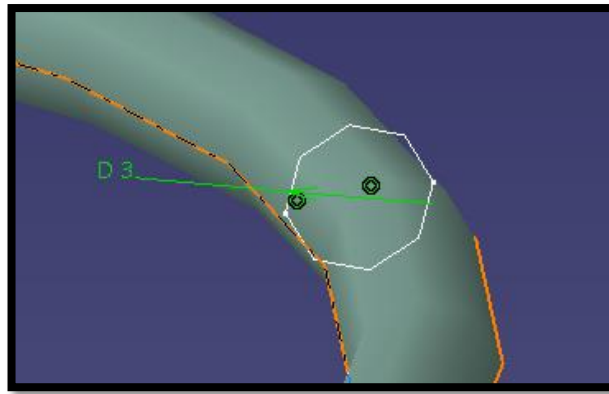


Figura 5-276. Timón de dirección: operación Rib en detalle

Como ocurría en el caso anterior añadimos barras en el interior (esta vez de sección circular y diámetro 2 mm) para el refuerzo de las correspondientes estructuras, así como superficies en ambos extremos para dotar de solidez a las zonas más sensibles.

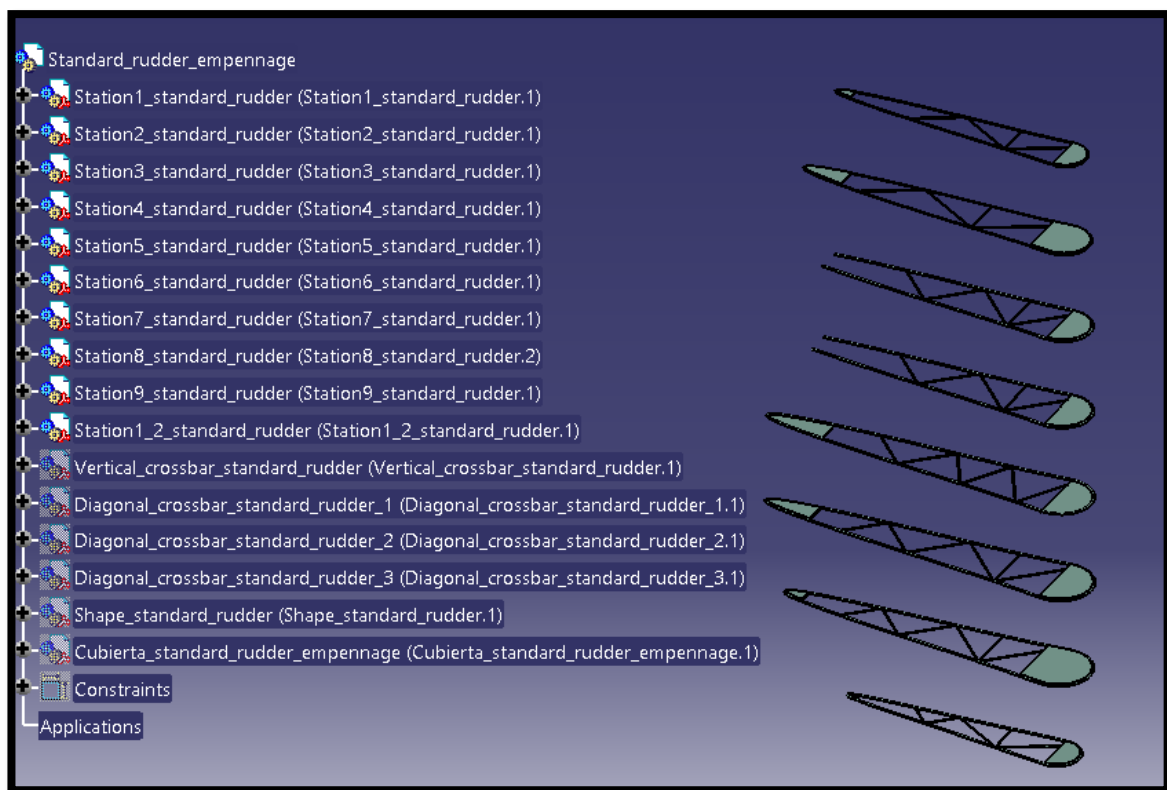


Figura 5-277. Timón de dirección: secciones convenientemente colocadas en el entorno del conjunto

Una vez colocadas correctamente procedemos a la realización de la cubierta exterior que, en gran medida, seguirá las mismas pautas de piezas anteriores (debemos poner especial atención a la unión de las secciones comprendidas entre la 3 y la 6, puesto que tenemos que respetar el hueco donde irá colocado el Trim tab).

Para ello hacemos sucesivas operaciones *Multi-sections Surface* seguidas de una orden con las que darle espesor 2 mm. La principal dificultad la encontramos en los extremos donde, haremos uso de un *Spline* como curva de referencia para operaciones de tipo *Blend* (hacemos sucesivas pruebas hasta que la superficie modelada pueda ser dotada de espesor sin problemas de tangencia o colisión).

Para finalizar añadimos un conjunto de chapas que recorren el interior de la pieza (junto a los bordes circulares que conforman el eje de giro alrededor de Fin Fuse), con su correspondiente taladrado, así como una serie de barras necesarias para soportar fuerzas y momentos (todas ellas de sección circular y diámetro 8 mm).

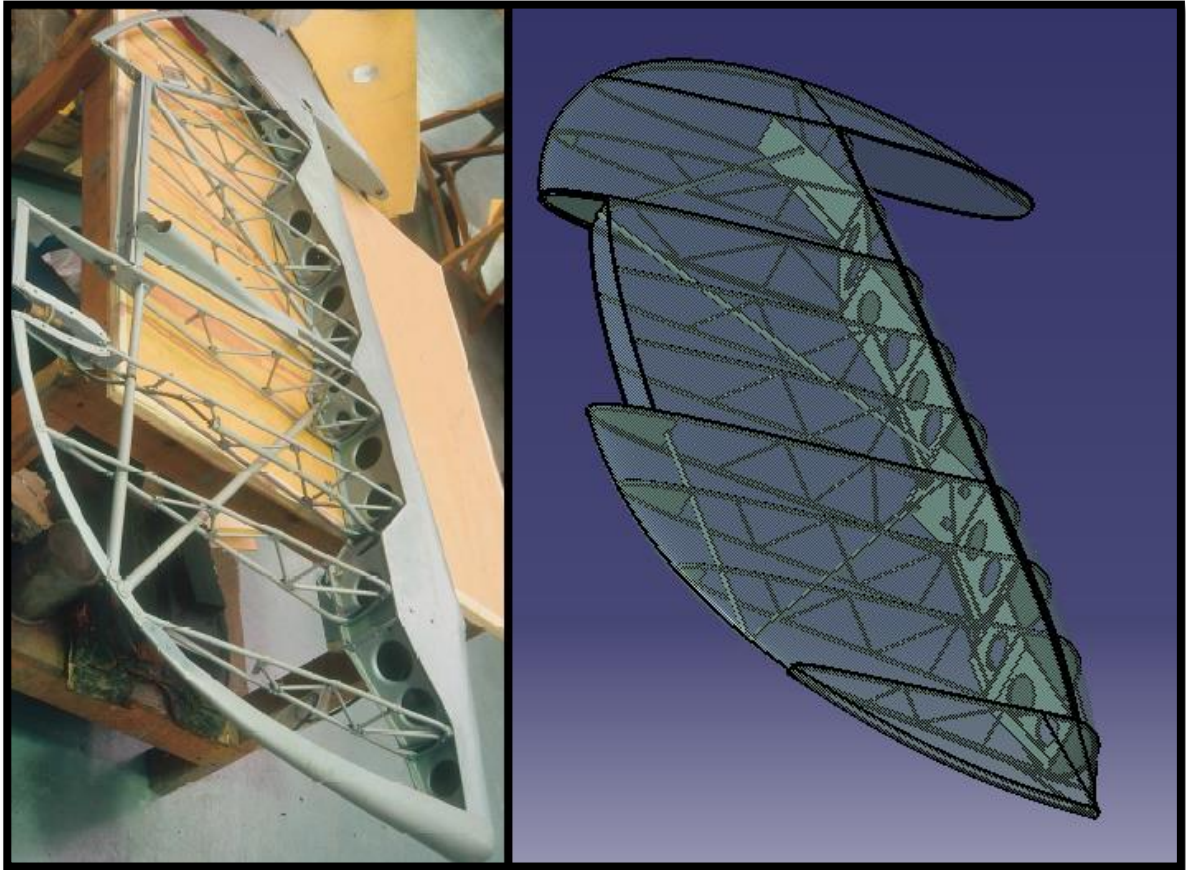


Figura 5-278. Timón de dirección: Imagen real frente a nuestro modelo

5.4.5 Trim tab

Se trata de tres piezas móviles situadas en el timón de profundidad (dos) y en el timón de dirección. Su función es mejorar el rendimiento de la aeronave a grandes velocidades, donde el uso y la efectividad de ambos timones se complican y da como resultado un peor comportamiento. Su modelado es muy sencillo y se basa en seguir el patrón que dejamos a la hora de realizar los huecos donde se sitúan.

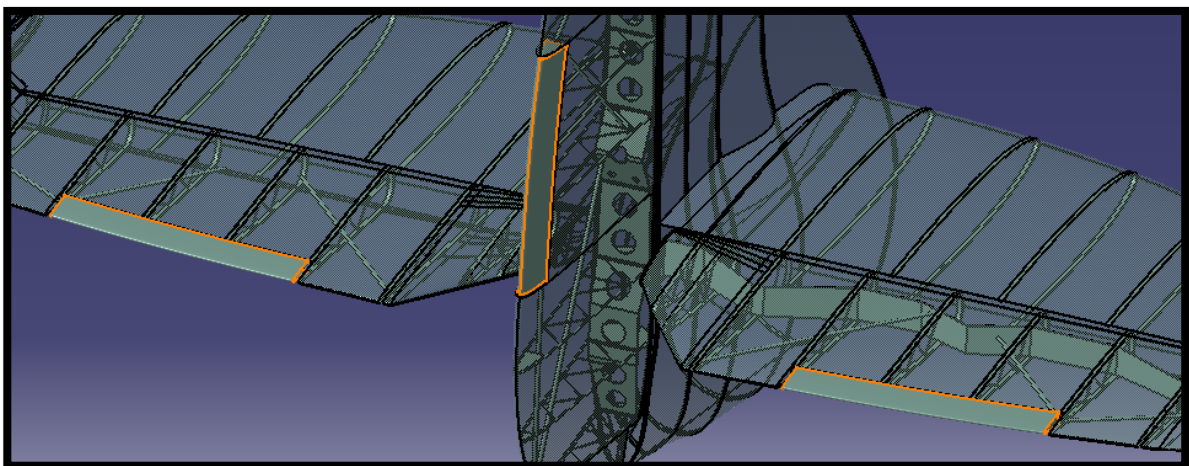


Figura 5-279. Trim Tab: piezas finales situadas en la cola

5.4.6 Resultado final

A la hora de realizar el ensamblaje final el proceso queda facilitado por la presencia de ejes de giro en las dos

piezas implicadas en cada caso, que haremos coincidir. Así permitimos que dichas piezas solo tengan como grado de libertad el movimiento de rotación que les corresponda.

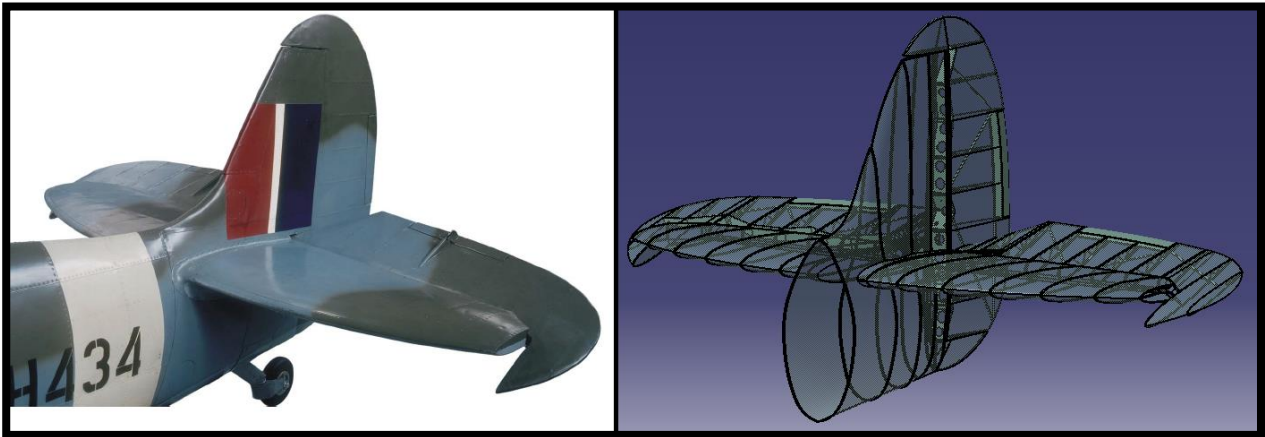


Figura 5-280. Cola: Imagen real frente a nuestro modelo 3D

5.5 Ala

Se trata de un cuerpo aerodinámico y fuerte estructuralmente compuesto por un perfil alar que envuelve a largueros y costillas. Es capaz de generar una diferencia de presiones entre su cara superior (extradós) e inferior (intradós) al desplazarse por el aire, produciendo una fuerza ascendente de sustentación que mantiene al avión en vuelo.

Es por tanto el principal componente de un avión y se diseña basándose en criterios como actuaciones en vuelo, velocidad de diseño, coeficiente de planeo, carga útil, maniobrabilidad, diseño estructural y diseño global. Sus principales funciones son:

- Dar sustentación y mantener el vuelo contrarrestando el peso del avión.
- Proveer de control al avión en vuelo (movimiento de balanceo).
- Asegurar la capacidad de despegue y aterrizaje con ayuda de dispositivos hipersustentadores (flaps).
- Alojamiento de combustible (en el caso de nuestro avión no se usa con este fin).
- Soporte de armamento.
- Alojamiento del tren de aterrizaje.

Por tanto, combinamos en un solo componente una estructura eficiente, un componente multifuncional y una ligereza asombrosa.

5.5.1 Estructura principal

Compuesta por las costillas, largueros y revestimiento, así como la cavidad donde se alberga el tren de aterrizaje en vuelo. Repasemos algunas características de estos componentes.

- **Costillas:** Estructuras que dan resistencia a torsión y dotan al ala de forma aerodinámica. Intercaladas perpendicularmente a los largueros, se encuentran vaciadas para aligerar peso una vez que garanticen su función.
- **Largueros:** Dotan al ala de resistencia a la flexión. En nuestro caso contaremos con dos largueros.
- **Revestimiento:** Parte externa del ala que la dota de resistencia a cortante.

A la hora de modelar esta pieza contaremos, como se ha ido repitiendo a lo largo del trabajo, con información acerca de las diferentes secciones que componen el perfil alar, es decir, las costillas alares. Por tanto, contamos con una tabla que nos proporciona la información necesaria para dibujar cada una de estas secciones, trabajando conjuntamente con las macros que CATIA nos proporciona. La configuración del ala modelada es la C-Wing.

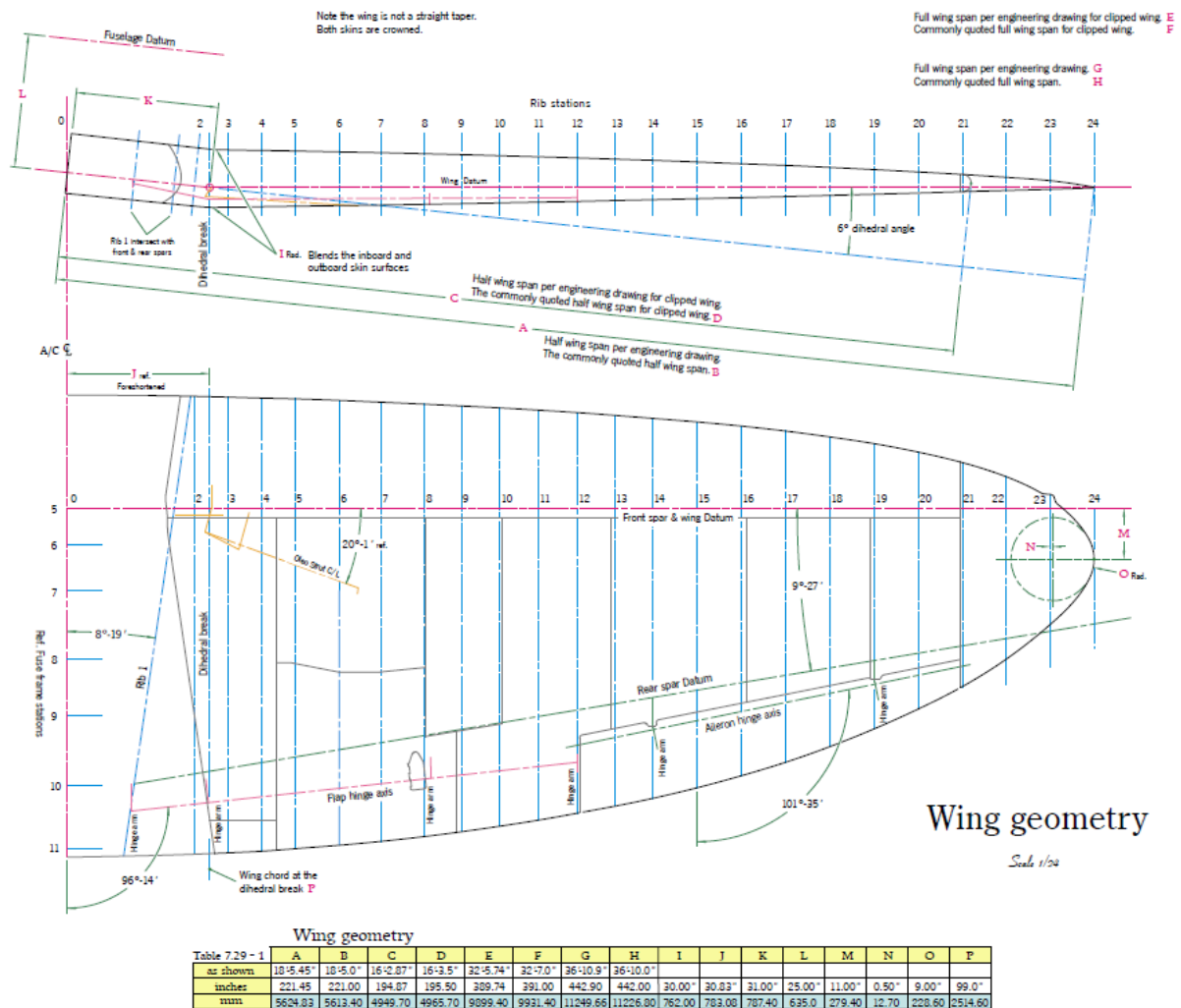


Figura 5-281. Ala: Planos globales

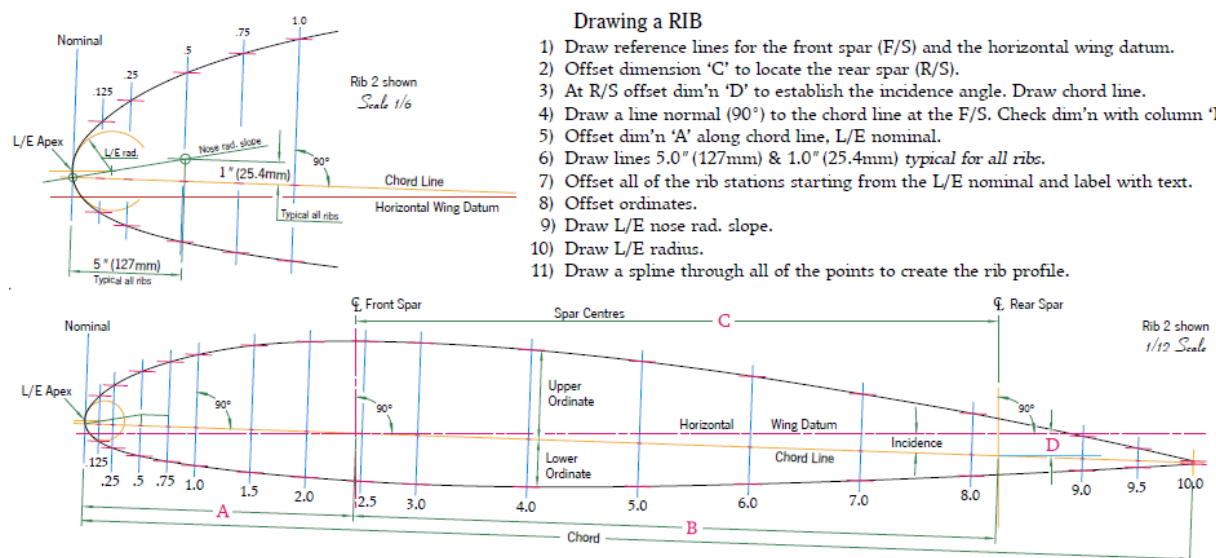


Figura 5-282. Ala: Pautas de construcción de las costillas

No obstante, no contamos con información acerca de las costillas propiamente dichas, por lo que vaciaremos las diferentes secciones según creamos conveniente y, de igual manera, colocaremos los largueros.

El primer paso será colocar correctamente los sucesivos planos donde se encuentra cada una de las secciones

(cabe destacar que debemos inclinar correctamente el plano sobre el que construiremos la costilla 2) y realizar los perfiles con *Spine*, a lo que sigue una operación *Pad* de espesor 14 mm. Posteriormente realizamos los cortes convenientes donde se situarán alerón y flaps, así como vaciados para albergar largueros o parte del vaciado para aligerar peso (sección 2). Solo reproduciremos las costillas pares para aligerar el proceso de modelado.

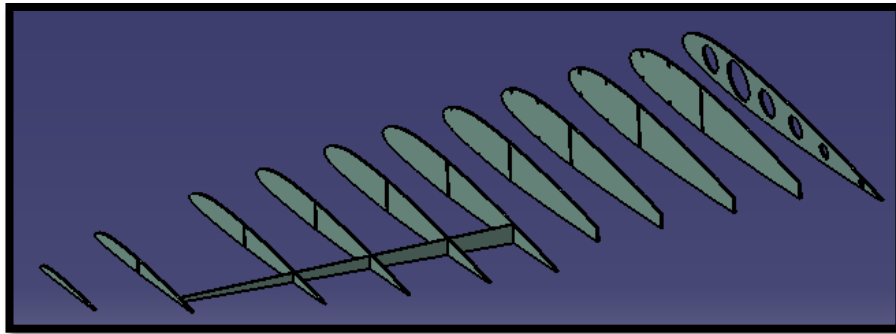


Figura 5-283. Ala: secciones pares

Una vez hecho esto realizamos el revestimiento mediante tres operaciones *Multi-sections Surface* (aquellas que nos permiten mantener la compatibilidad y condiciones de tangencia necesarias). En la punta de las alas debemos usar operaciones *Blend* para la unión de dos curvas. Finalmente añadimos un espesor de 2 mm a todas estas superficies externas (*Thick Surface*).

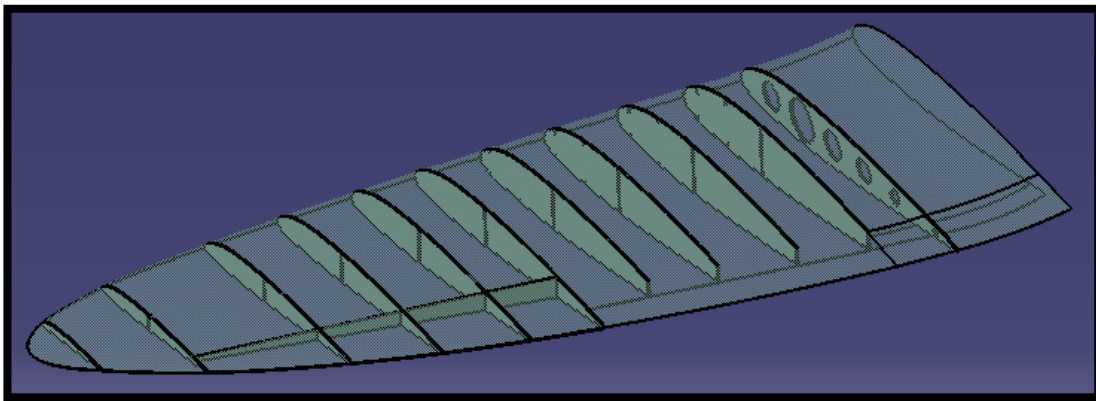


Figura 5-284. Ala: modelado del revestimiento externo

Debemos poner especial atención en la parte derecha de la imagen, donde observamos que el revestimiento no sigue las mismas pautas en extradós e intradós, de manera que en esta última cara tenemos menos material, puesto que éste formará parte de los flaps.

Las costillas impares las obtenemos como consecuencia del corte entre el plano que las contiene y el revestimiento externo ya modelado, seguido de una operación *Pad* que las dote de espesor. De igual manera, realizamos el vaciado donde se situarán los largueros.

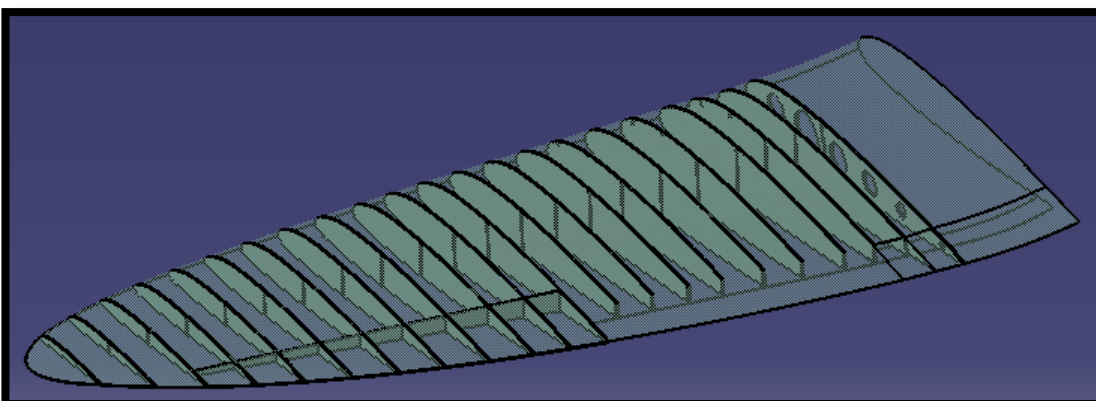


Figura 5-285. Ala: secciones pares e impares más revestimiento

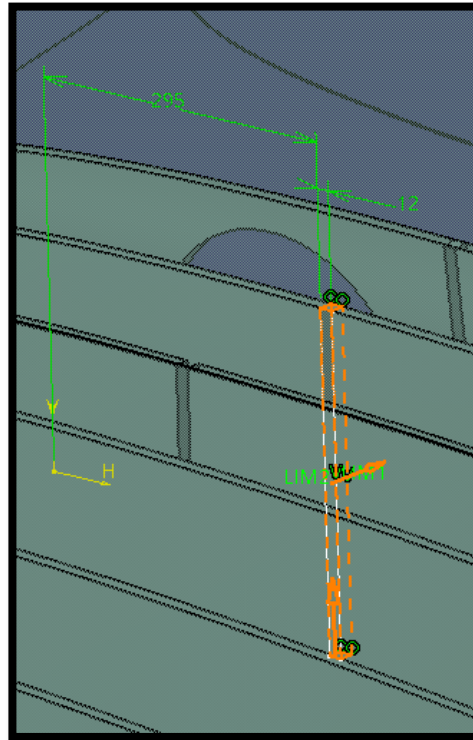


Figura 5-286. Ala: operación Pocket para el alojamiento de largueros

Para continuar, seguiremos realizando operaciones de vaciado, algunas con fines estructurales (aligerar peso y eliminar material innecesario) y otras con fines de diseño (albergar alerón). Para completar estas tareas hacemos uso de operaciones *Pocket* y *Removed Multi-sections Solid*, que nos permite agilizar el proceso de vaciado circunferencial, mediante el uso de perfil inicial y final.

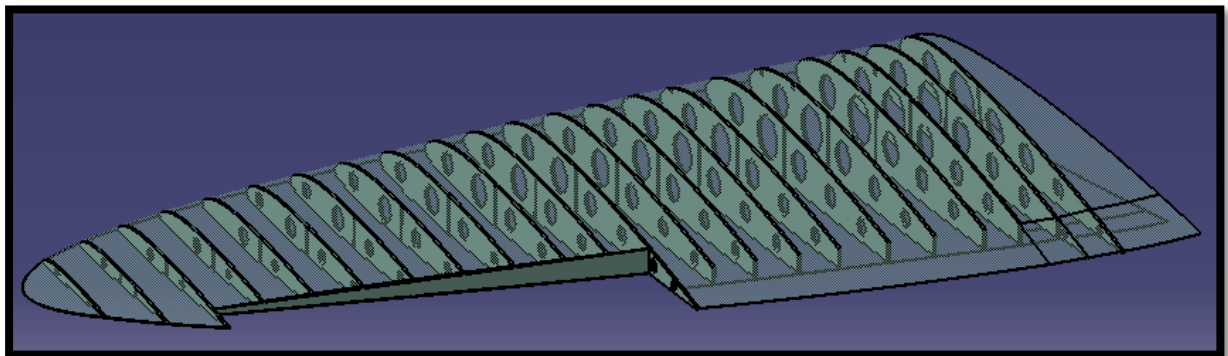


Figura 5-287. Ala: operación de vaciado mencionada

También podemos observar como en la parte que precede a la primera costilla (costilla 2) hemos realizado un corte por *Split* para adecuarnos a la forma del ala en los planos.

El siguiente paso será, por un lado crear los cuerpos que hacen las veces de sujeción para el alerón y por otro vaciar las dos primeras costillas según corresponda para que no haya colisión con el movimiento del flap interno.

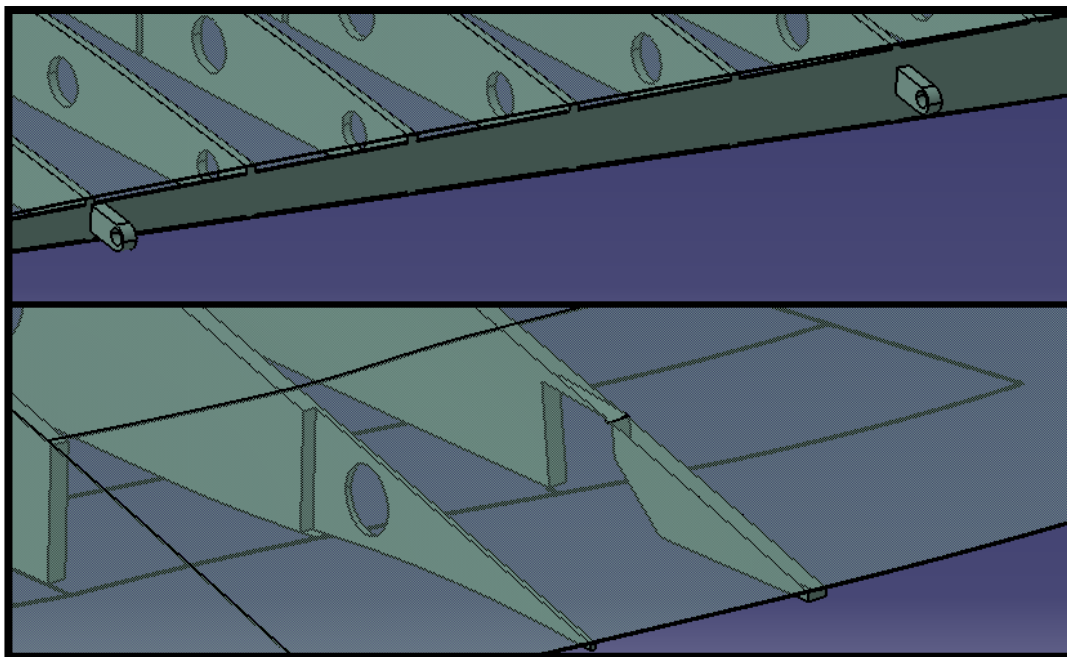


Figura 5-288. Ala: sujeciones alerón y vaciado para el movimiento de los flaps

Para finalizar debemos realizar la operación de vaciado mayor, es decir, aquella cuyo fin es servir de alojamiento para el tren de aterrizaje. Para ello, previamente modelamos el tren de aterrizaje y lo superponemos con el ala, para que la operación cumpla con su fin de forma correcta.

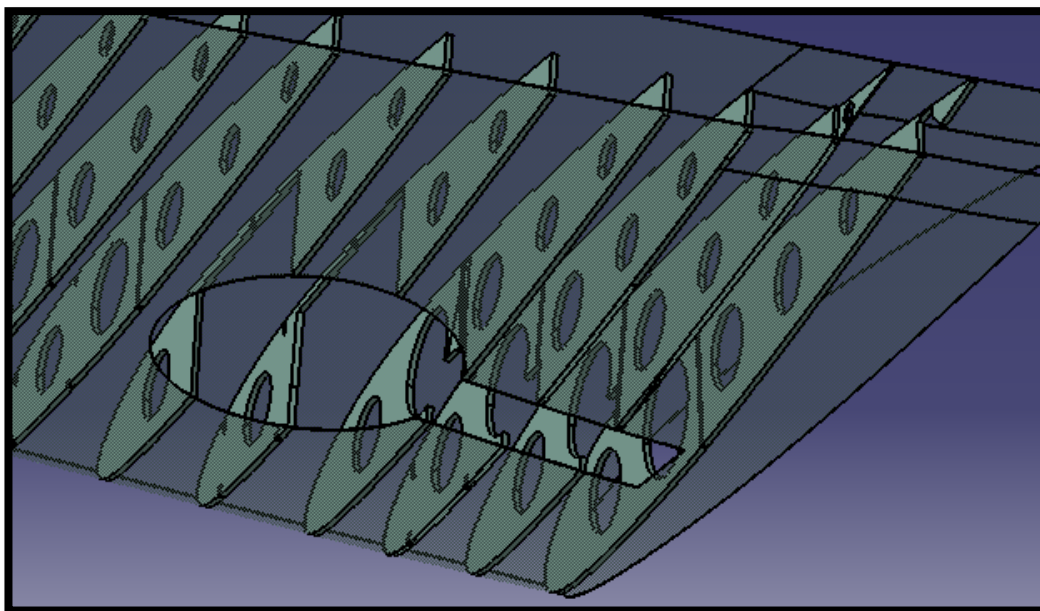


Figura 5-289. Ala: agujero para tren de aterrizaje retraído

También añadimos un sólido que nos sirva para la sujeción de la pieza fija del tren de aterrizaje, sobre la que gira el resto de la estructura.

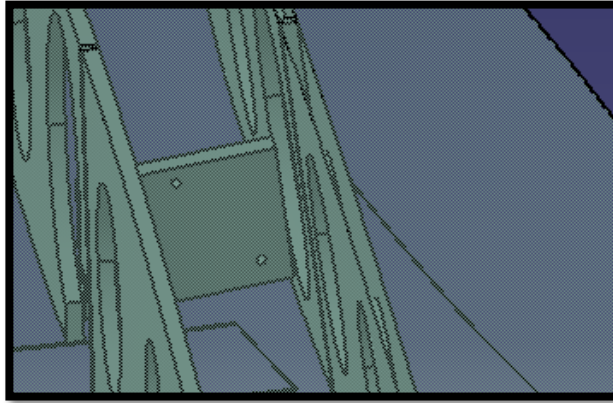


Figura 5-290. Ala: Pieza de sujeción para la estructura del tren de aterrizaje

Como parte de esta estructura principal, también modelaremos los largueros que recorren el ala perpendicularmente a las costillas. Debemos garantizar en la realización de los perfiles a extrudir que no haya colisión con el revestimiento u otras partes.

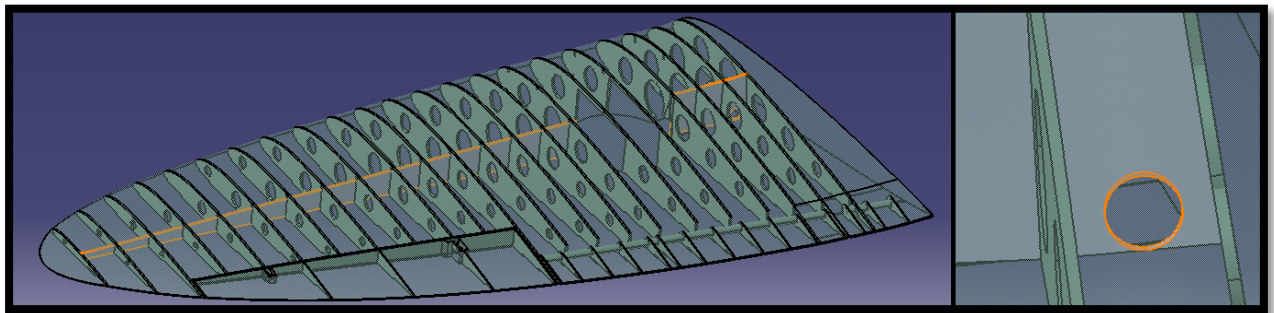


Figura 5-291. Ala: largueros y detalle del agujero que evita la colisión con un componente el tren de aterrizaje

5.5.2 Alerón

Se encarga de controlar el movimiento de alabeo del avión, mediante la deflexión asimétrica de ambos alerones, generando una sustentación mayor en el alerón que baja y una menor en el que sube. De esta manera el avión gira alrededor de su eje longitudinal.

Los planos con los que contamos nos indican la longitud que tiene el alerón así como su posición. Sin embargo, no tenemos datos de secciones ni de la estructura interna.

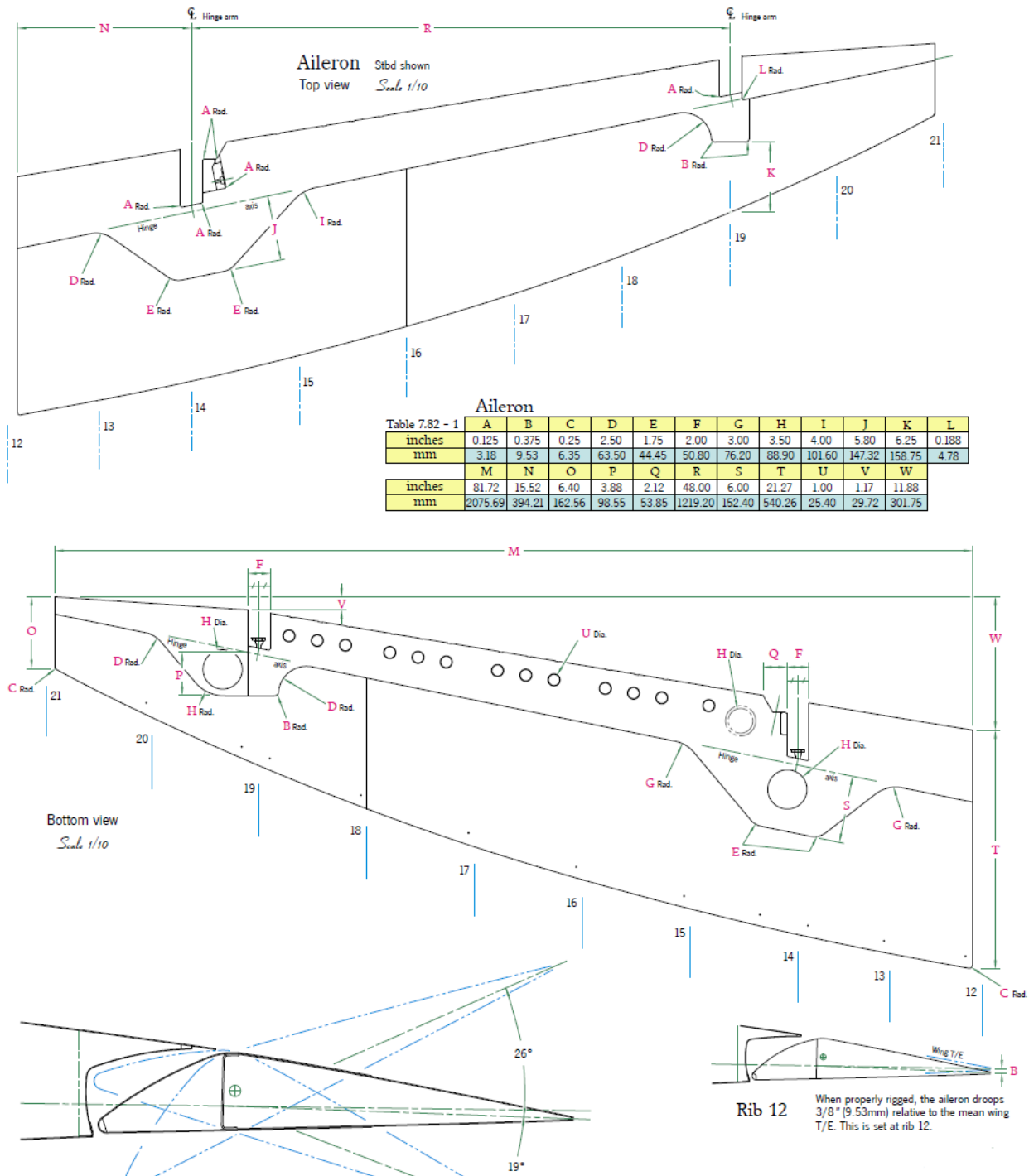


Figura 5-292. Alerón: planos generales

Es por ello que tomamos los datos con los que realizábamos las costillas anteriormente y nos quedamos con la parte que nos interesa, para así hacer una superficie que se adapte al hueco que habíamos dejado con anterioridad para esta pieza.

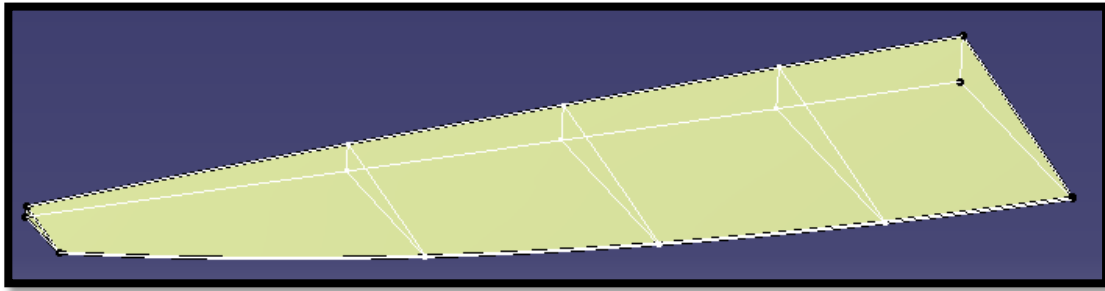


Figura 5-293. Alerón: secciones, a partir de los datos de la estructura alar completa, unidas por Multi-sections Surface

A continuación, le damos un espesor de 1.5 mm mediante *Thick Surface* y creamos superficies internas que sirvan como apoyo estructural a partir de las secciones mostradas anteriormente (*Pad* de longitud 7 mm).

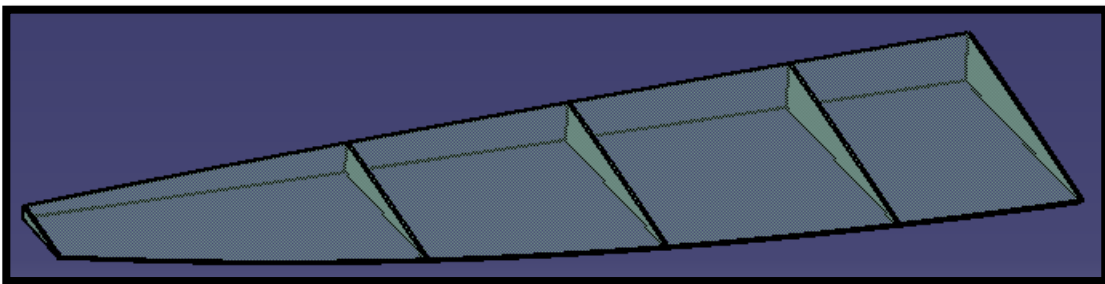


Figura 5-294. Alerón: secciones llenas y revestimiento

Hacemos ahora el vaciado correspondiente, es decir, el que servirá como sujeción a la estructura alar principal, al añadirle cilindros. Para ello, creamos los perfiles que vaciaremos y una vez eliminado el material, rellenamos con sucesivas operaciones *Blend* para que el alerón quede aislado. Finalmente añadimos cilindros según corresponda para que la sujeción y el giro sean correctos.

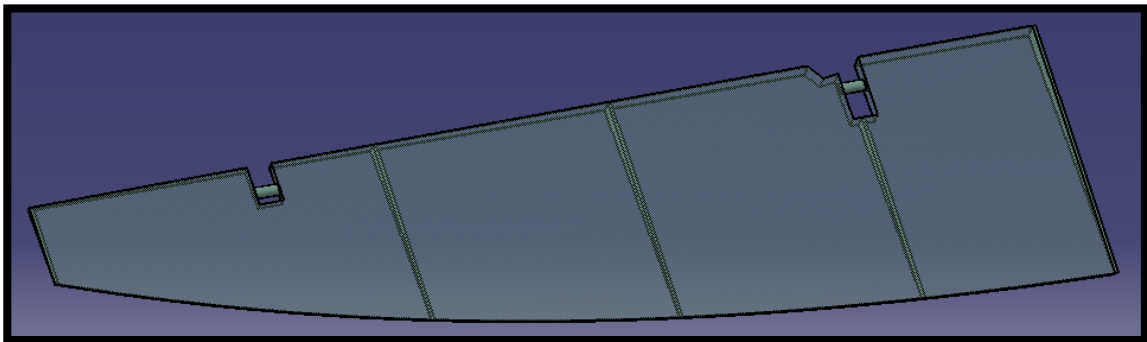


Figura 5-295. Alerón finalizado



Figura 5-296. Alerón real

Como podemos observar obtenemos un buen resultado mediante el proceso de modelado seguido con respecto a la pieza real (el único cambio es el sistema de sujeción que en el libro no queda especificado).

5.5.3 Flaps

Superficies hipersustentadoras utilizadas durante despegue y aterrizaje. La misión de estos elementos es reducir la velocidad mínima que el avión necesita para efectuar estas acciones. La deflexión de estos dispositivos provoca un aumento de la resistencia aerodinámica del avión.

Tenemos dos, el flap interno y el flap externo y de ambos tenemos planos detallados.

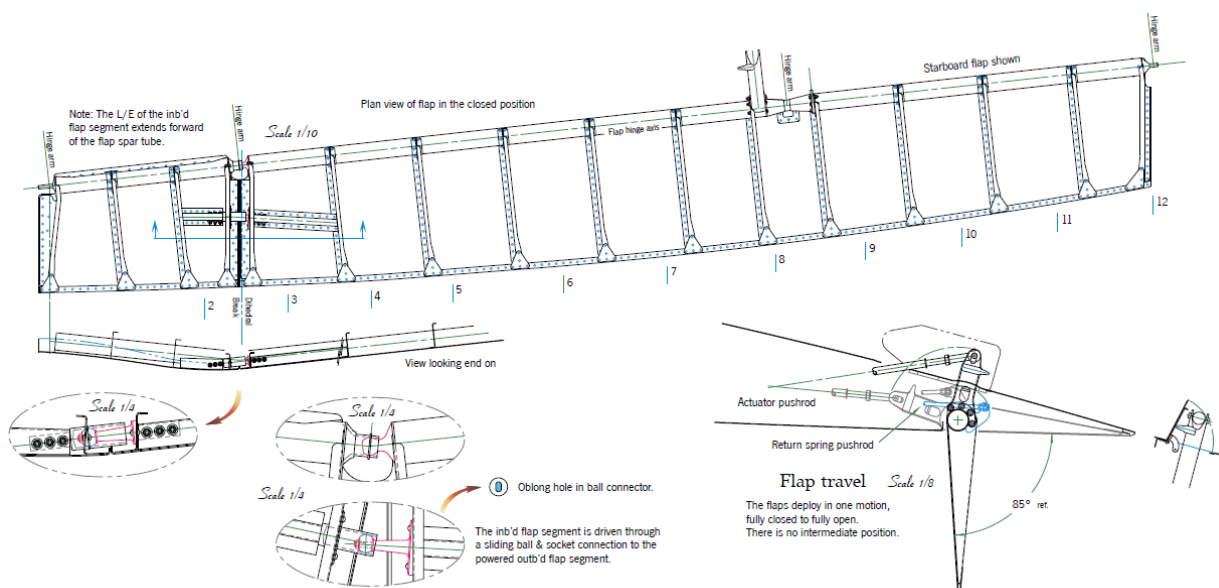


Figura 5-297. Flaps: planos generales

5.5.3.1 Flap interno

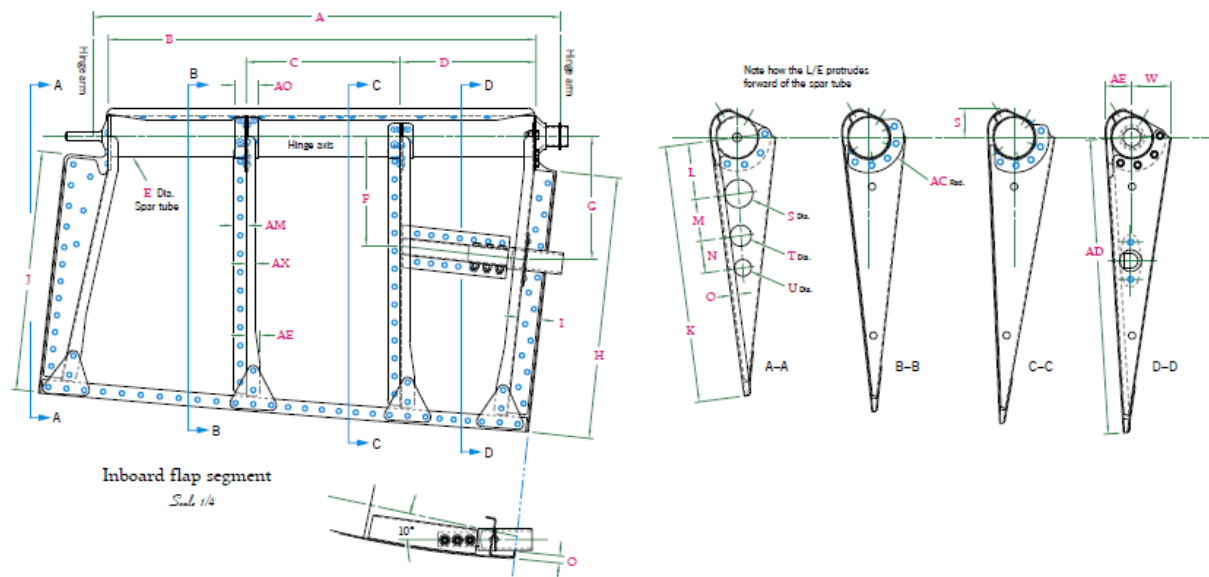


Figura 5-298. Flap interno: planos

Como podemos observar los planos nos definen la pieza en su totalidad. No obstante, a la hora de modelarla hacemos una serie de modificaciones para adaptarnos a lo hecho hasta ahora y permitir el movimiento de la pieza libre de colisiones.

El primer paso es, partiendo de las secciones de la estructura alar principal, realizar una operación *Multi-sections Surface*, igual a la realizada para el revestimiento para posteriormente cortarla y adaptarla al flap en cuestión.

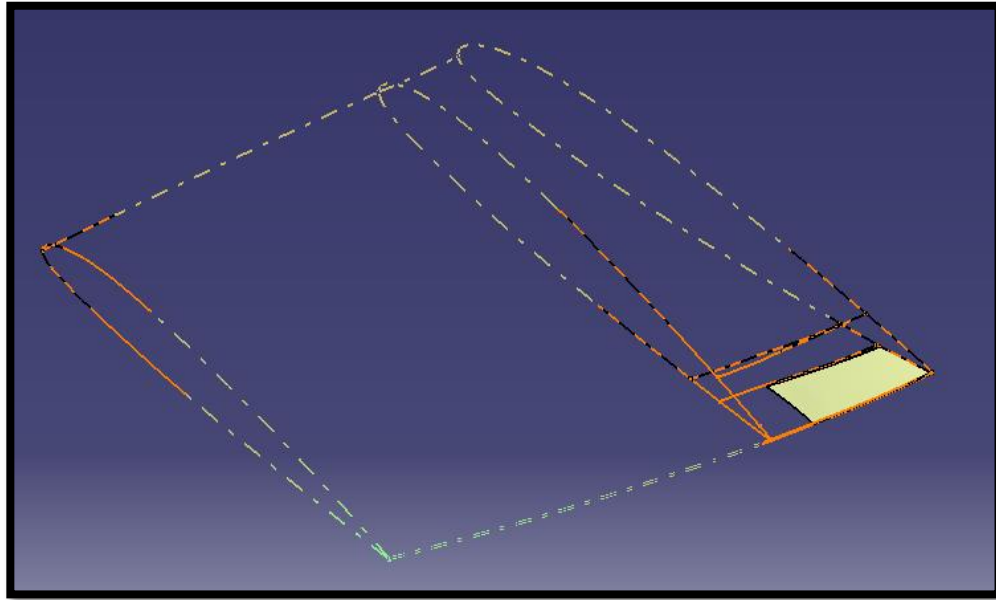


Figura 5-299. Flap interno: superficie externa obtenida a partir de sucesivos cortes por Split

La superficie final tendrá un grosor de 1.5 mm (*Thick Surface*) y a esta le acoplamos varias superficies (según la dirección de las costillas). En nuestro caso se trata de tres superficies de 7 mm de espesor unidas por medio de un cilindro que usaremos como eje de giro.

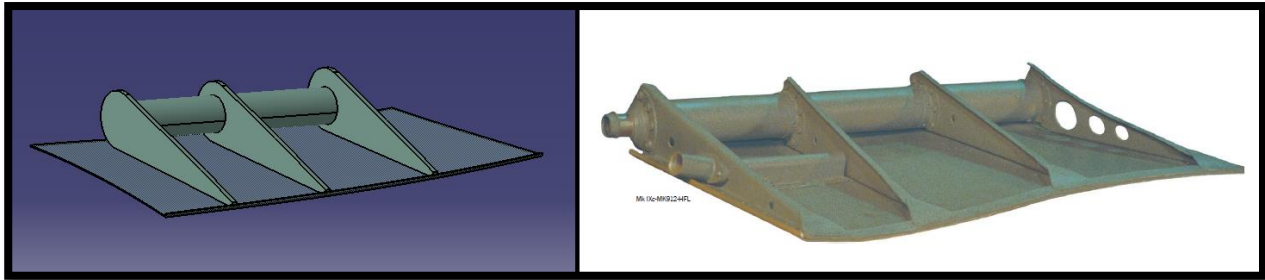


Figura 5-300. Flap interno: modelo en CATIA frente a la pieza real

Por tanto, como podemos observar, existen diferencias con el modelo real que tiene cuatro superficies de este tipo y en distintas posiciones. Como explicábamos al principio de esta sección, las modificaciones realizadas son a fin de establecer la mayor compatibilidad posible con piezas ya modeladas.

5.5.3.2 Flap externo

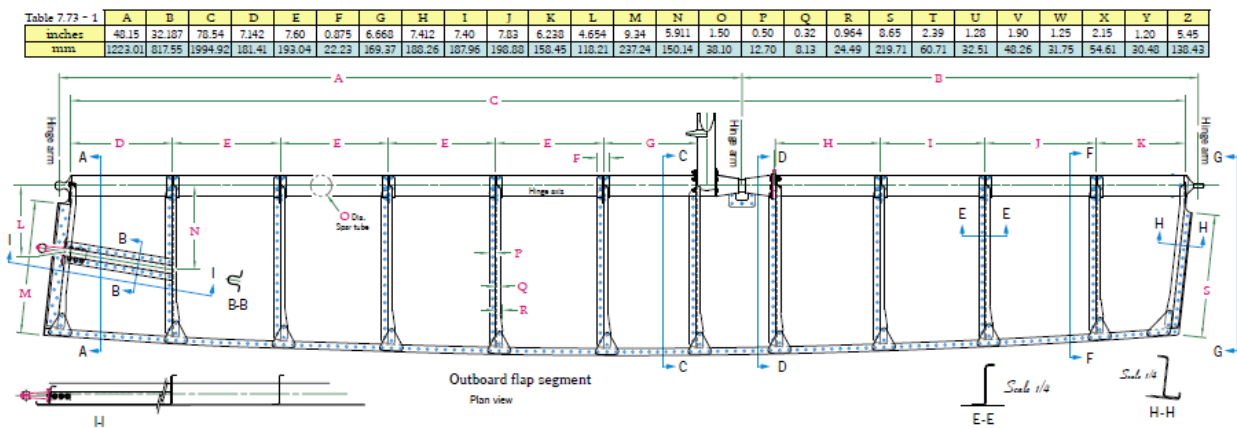


Figura 5-301. Flap externo: planos

En este caso, también disponemos de planos suficientemente detallados que nos dan la información necesaria para reproducir la pieza en su totalidad. El proceso de modelado será muy similar al seguido en el flap interno, con principal diferencia en el tamaño de la pieza y número de componentes.

El primer paso será por tanto realizar una operación *Multi-sections Surface* basada en las secciones de las que disponemos en el caso de la estructura alar principal. De esta manera, una vez realizado el revestimiento realizamos cortes con la orden *Split* hasta adaptar la superficie a las medidas y forma requeridas.

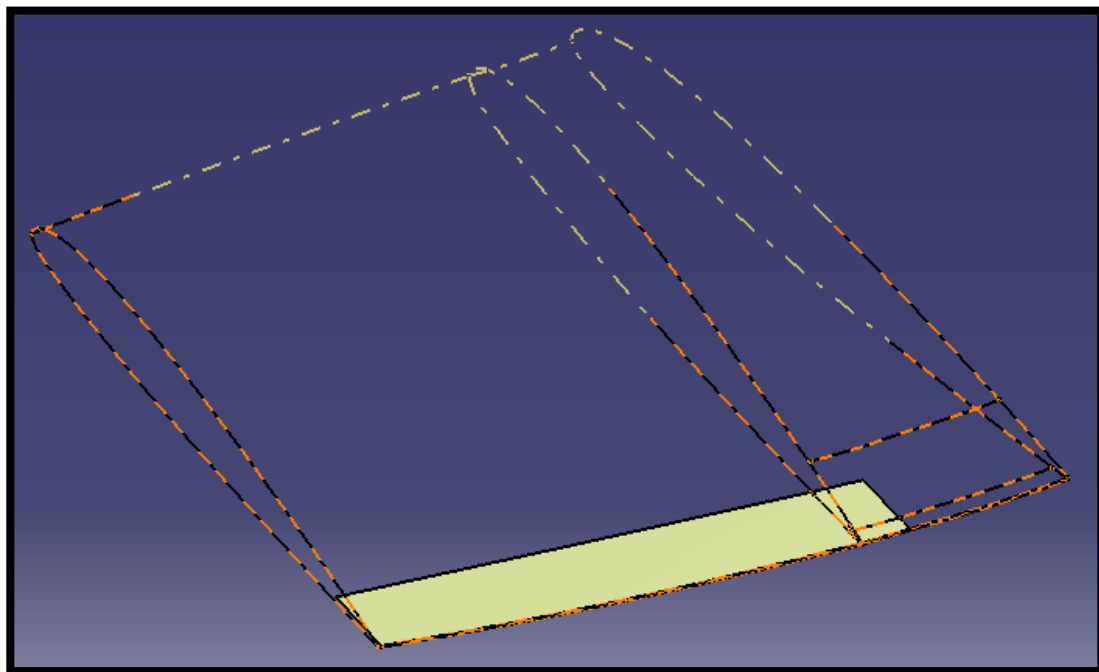


Figura 5-302. Flap externo: superficie externa obtenida a partir de sucesivos cortes por Split

Nuevamente por *Thick surface* damos un espesor de 1.5 mm, para posteriormente añadir mediante órdenes *Pad* de longitud 7 mm, las superficies que ejercen como soporte estructural de la pieza en cuestión. En este caso se trata de doce superficies que esta vez sí se ajustarán a los planos. También añadimos un cilindro de diámetro 48 mm que recorre toda la pieza y que sirve como eje de giro.

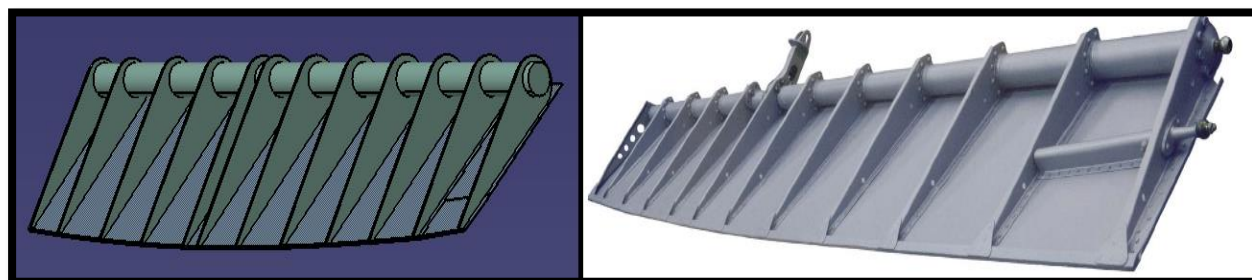


Figura 5-303. Flap externo: modelo en CATIA frente a la pieza real

5.5.4 Resultado final

Finalmente debemos realizar el ensamblaje de todas las piezas, en este caso permitiendo el giro de alerón y flaps alrededor de los correctos ejes. Para ello nos basamos en documentación fotográfica disponible en el libro y en los planos de la figura 5-281 (para colocación de ejes y planos).

Mostramos por tanto el resultado final del proceso de modelado del ala, comparando con fotografías reales del ala del Spitfire Mk IX.

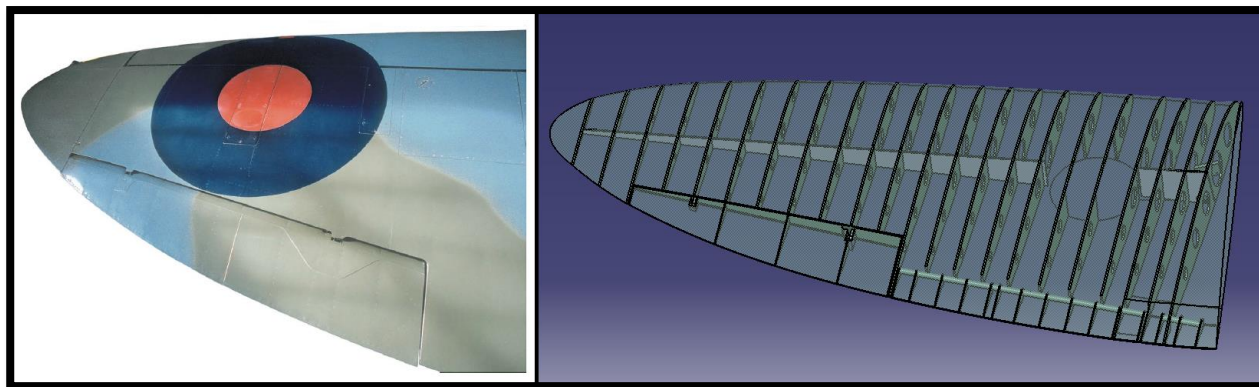


Figura 5-304. Ala: imagen real frente a nuestro modelo

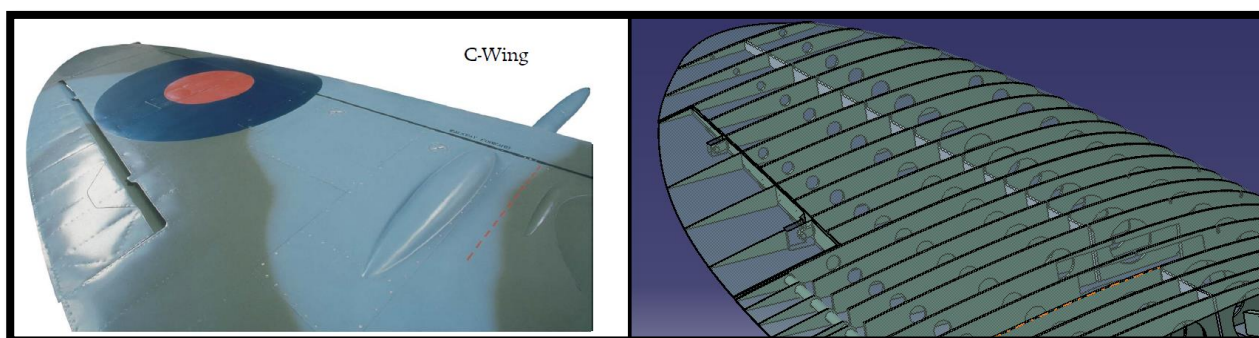


Figura 5-305. Ala: imagen real frente a nuestro modelo (2)

En base a la comparación realizada, podemos decir que la reproducción del ala se ha llevado con éxito a pesar de las dificultades que esta presenta.¹⁰

5.6 Tren de aterrizaje

Se trata de la parte encargada de absorber la energía cinética producida en el impacto entre el avión y la pista durante el aterrizaje e igualmente, encargada de facilitar el rodaje en pista ya sea para aterrizar o despegar.

Los neumáticos son el primer elemento de absorción, pero no es suficiente, por lo que el tren contiene un sistema de amortiguación. Este debe absorber la energía cinética equivalente a la caída libre del peso del avión desde 80 cm de altura, lo que comúnmente se conoce como “energía de descenso”.

Son muchos los factores que influyen en este aspecto, desde las dimensiones del tren y los neumáticos, la presión de estos, la velocidad vertical de aterrizaje...

5.6.1 Tren de aterrizaje fijo

Los trenes fijos son los que durante el vuelo se encuentran permanentemente expuestos a la corriente de aire. Se usan solamente en aviones relativamente pequeños, como es nuestro caso, donde afectaría más el aumento de peso en caso de añadir otro tipo de tren que el aumento de resistencia aerodinámica que un tren fijo supone.

Los planos para la realización de esta pieza son muy explicativos y facilitan el proceso. No obstante, hay partes que no se encuentran acotadas por lo que usamos regla y medidas de referencia para calcular la escala en cada caso.

¹⁰ Dejamos a un lado el modelado del armamento equipado en el ala.

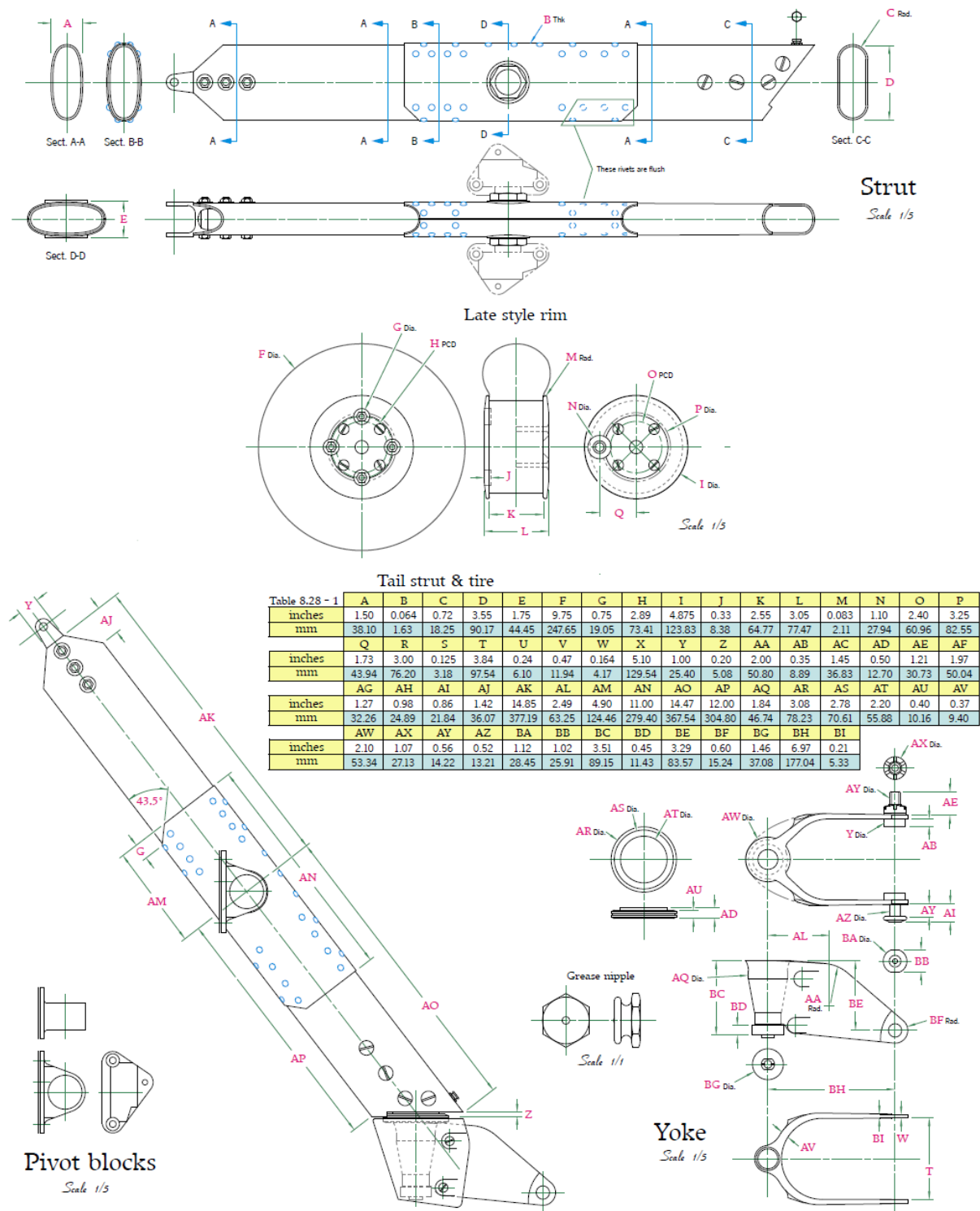


Figura 5-306. Tren de aterrizaje fijo: planos

5.6.1.1 Strut

El primer paso es determinar la inclinación de los planos que vamos a usar (unos 37°) y colocarlos en el espacio según las distancias que se nos dan. Posteriormente reproducimos las secciones que se nos proporcionan y realizamos operaciones *Pad*, entre plano y plano, activando la opción *Thickness* (varía entre 2 y 2.33 mm).

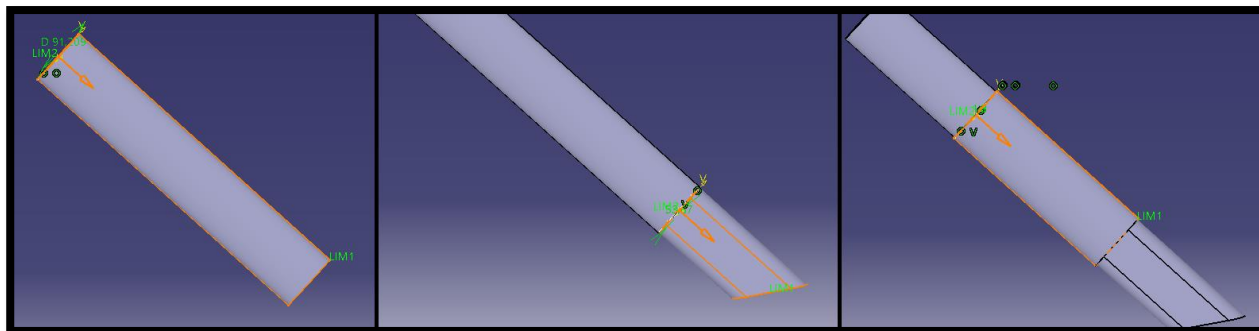


Figura 5-307. Strut: sucesión de operaciones Pad

Añadimos un nuevo cuerpo para la parte superior que se modela por *Multi-sections Solid* más vaciado por *Shell* (para dejar el mismo espesor que en piezas anteriores, 2.33 mm). A estas operaciones le sigue *Pad* más *Mirror* y finalmente vaciado por *Pocket*. Lo unimos al resto de la estructura por la booleana *Assemble*.

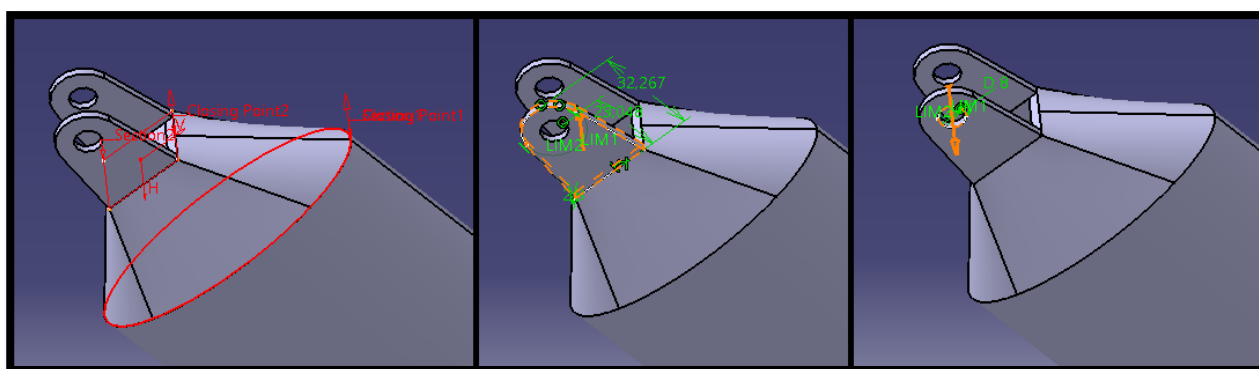


Figura 5-308. Strut: secuencia de operaciones para pieza superior

Finalmente añadimos la pieza inferior, que sirve como sujeción para otro componente que denominamos Yoke. Esta pieza está compuesta por dos operaciones *Pad*, una *Multi-sections Solid* y una *Pocket*. Vemos a continuación el cronograma seguido.

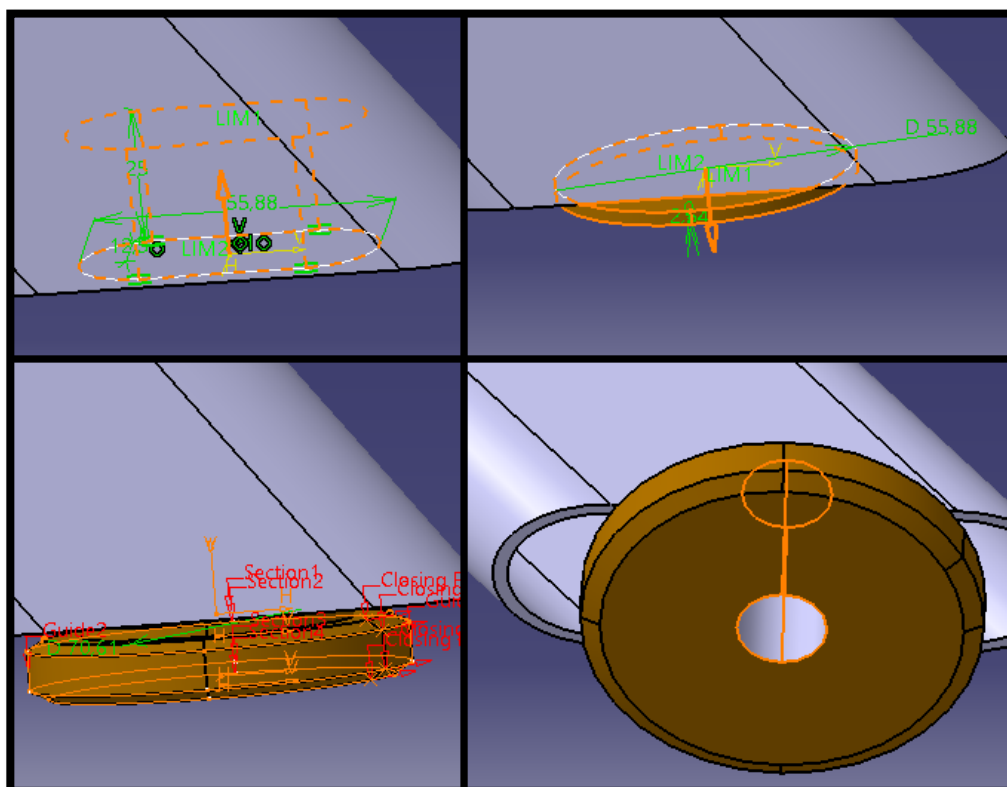


Figura 5-309. Strut: secuencia de operaciones para pieza inferior

De esta manera damos por finalizada la primera pieza que compone el tren de aterrizaje fijo.

5.6.1.2 Yoke

En este caso dividimos en dos cuerpos que posteriormente fusionamos por *Union trim*. Por un lado el conjunto de piezas verticales (mayormente cilindros) y por el otro, la pieza que sirve de agarre para la rueda.

La primera de ella se modela mediante cinco operaciones: tres *Pad* y dos *Multi-sections Solid*.

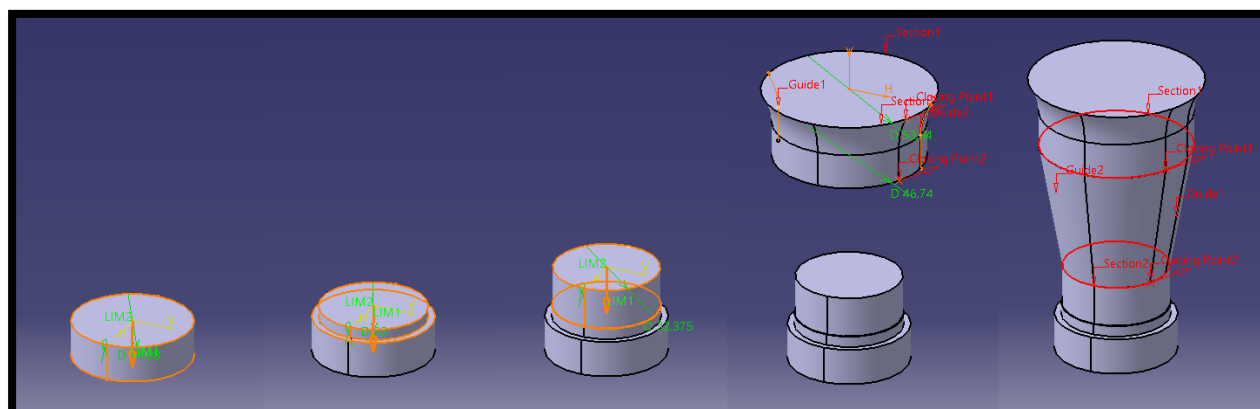


Figura 5-310. Yoke: Sucesión de operaciones que nos dan la primera pieza

La segunda pieza se forma mediante tres operaciones: *Pad* seguido de dos *Pocket*. Una vez unida a la primera, se completa el modelado con dos operaciones de vaciado por *Pocket*, que alojan la tornillería usada.

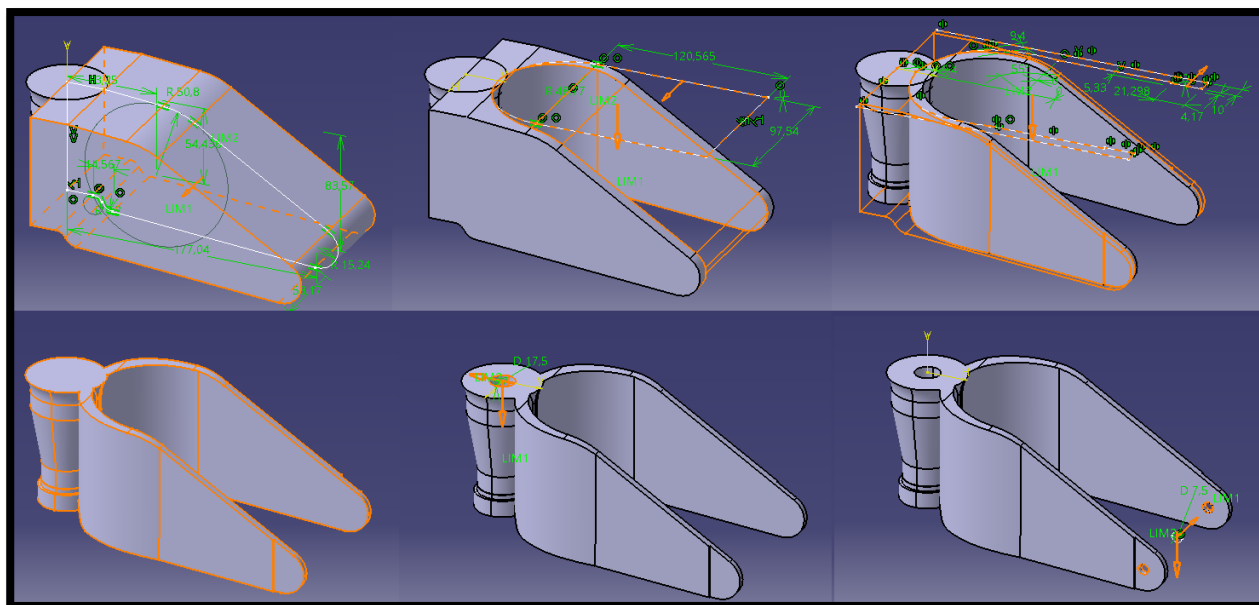


Figura 5-311. Yoke: Sucesión de operaciones que nos dan la segunda pieza y el sólido final

5.6.1.3 Rueda

Se trata de un conjunto compuesto por dos partes: la llanta y el neumático. Comenzaremos analizando la llanta y seguiremos por el neumático (más simple).

La llanta se modela siguiendo un proceso de seis operaciones: *Multi-sections Solid + Mirror, Pad*, tres *Pocket* y *Circular Pattern*.

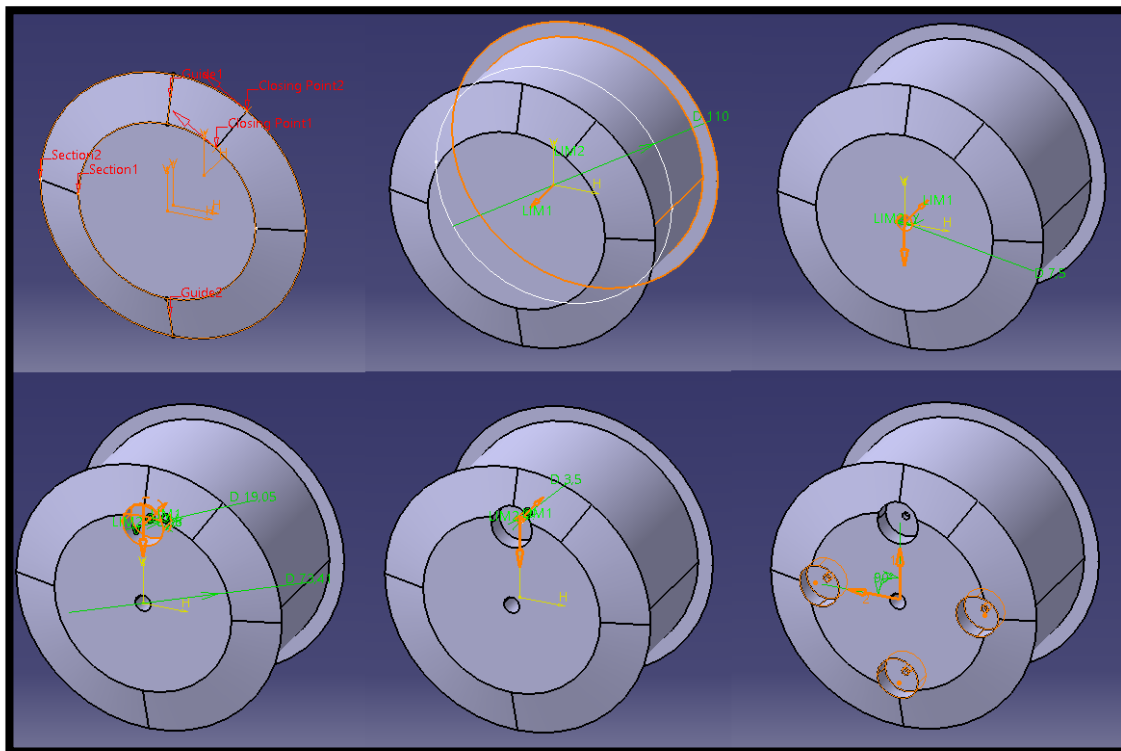


Figura 5-312. Rueda tren fijo: Secuencia de operaciones para el modelado de la llanta

Le añadimos a continuación una especie de remachado a modo de detalle, en la parte frontal.

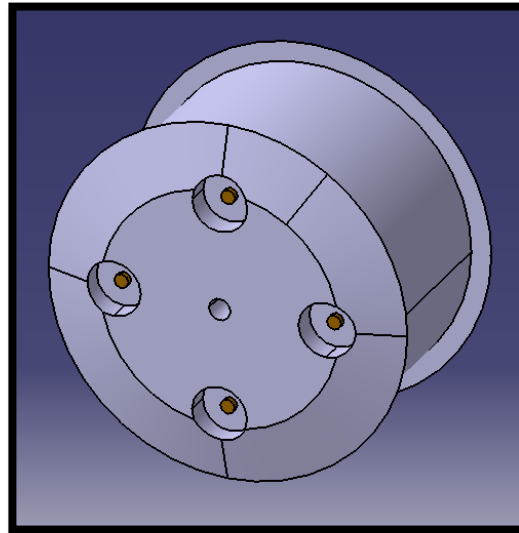


Figura 5-313. Rueda tren fijo: Remachado llanta

A continuación modelamos el neumático, que se trata básicamente de un cilindro hueco de bastante espesor, en el que redondeamos sus aristas exteriores con radio grande y por último añadimos como detalle las marcas de la superficie con operaciones *Slot*.

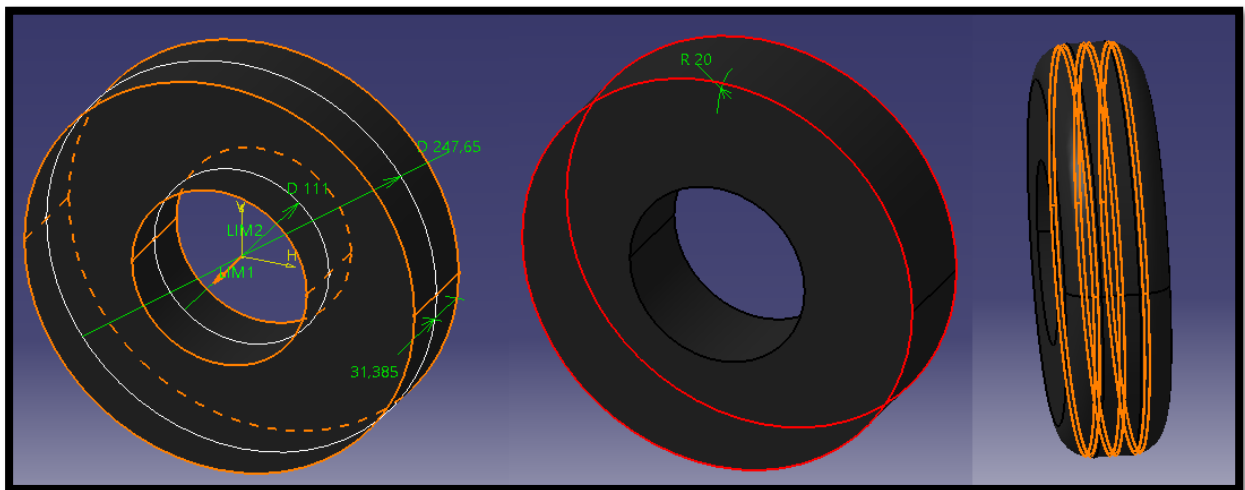


Figura 5-314. Rueda tren fijo: Proceso de modelado del neumático

5.6.1.4 Tornillería

Los dos principales se usan para fijar Yoke y Strut y, por otro lado, Yoke y Rueda.

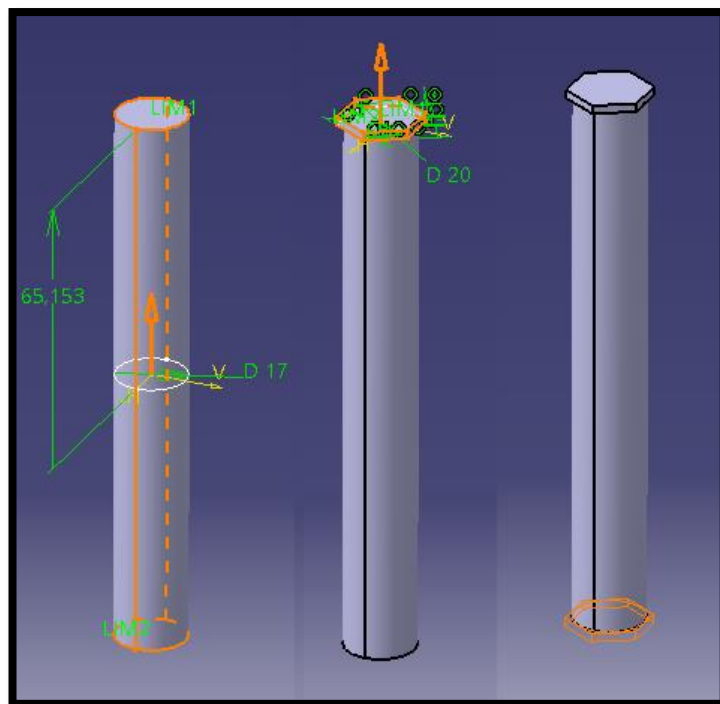


Figura 5-315. Tren de aterrizaje fijo: Proceso de modelado del agarre 1

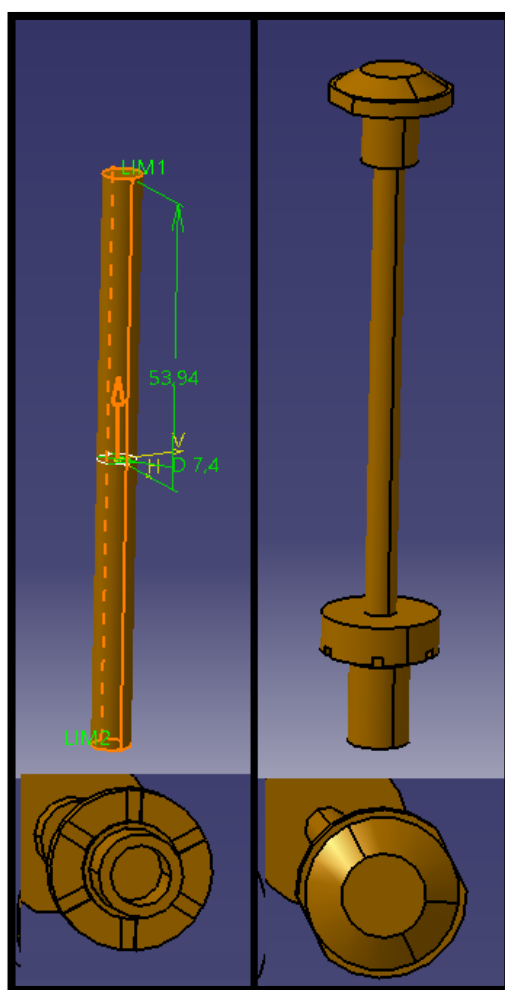


Figura 5-316. Tren de aterrizaje fijo: Características del agarre 2

5.6.1.5 Resultado final

Como veremos en la Figura 5-317, el nivel de detalle con el que se modela este componente, así como el resultado obtenido, es excelente. Nos encargamos de unir todas las piezas de forma correcta, respetando el grado de libertad que presenta la pieza Yoke (rotación respecto a la pieza inferior de Strut) y la rueda (rotación respecto al agarre 2).

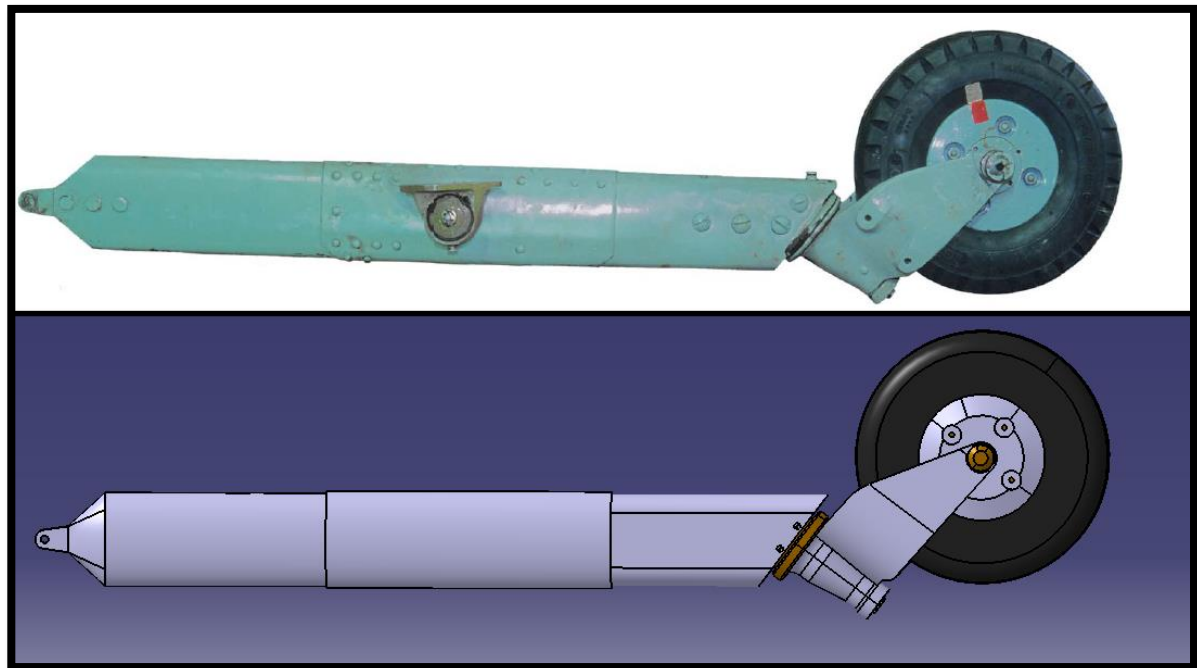


Figura 5-317. Tren de aterrizaje fijo: comparación entre imagen real y nuestro modelo

5.6.2 Tren de aterrizaje retráctil

Los trenes retráctiles por su parte, son los que no están expuestos al aire durante el vuelo, sino que se encuentran recogidos en la parte estructural del avión, en nuestro caso en el ala (donde ya hemos analizado el hueco que lo albergará). Es el piloto el encargado de accionar el mecanismo que los despliega o lo recoge en función de la situación en que se encuentre la aeronave.

Los planos para la realización de esta pieza son similares a los anteriores en nivel de detalle, pero más complejos. Sin embargo, hay partes que obviaremos para agilizar el proceso de modelado que, por tanto, no tendrá en este caso la mayor profundidad posible.

5.6.2.1 Oleo strut

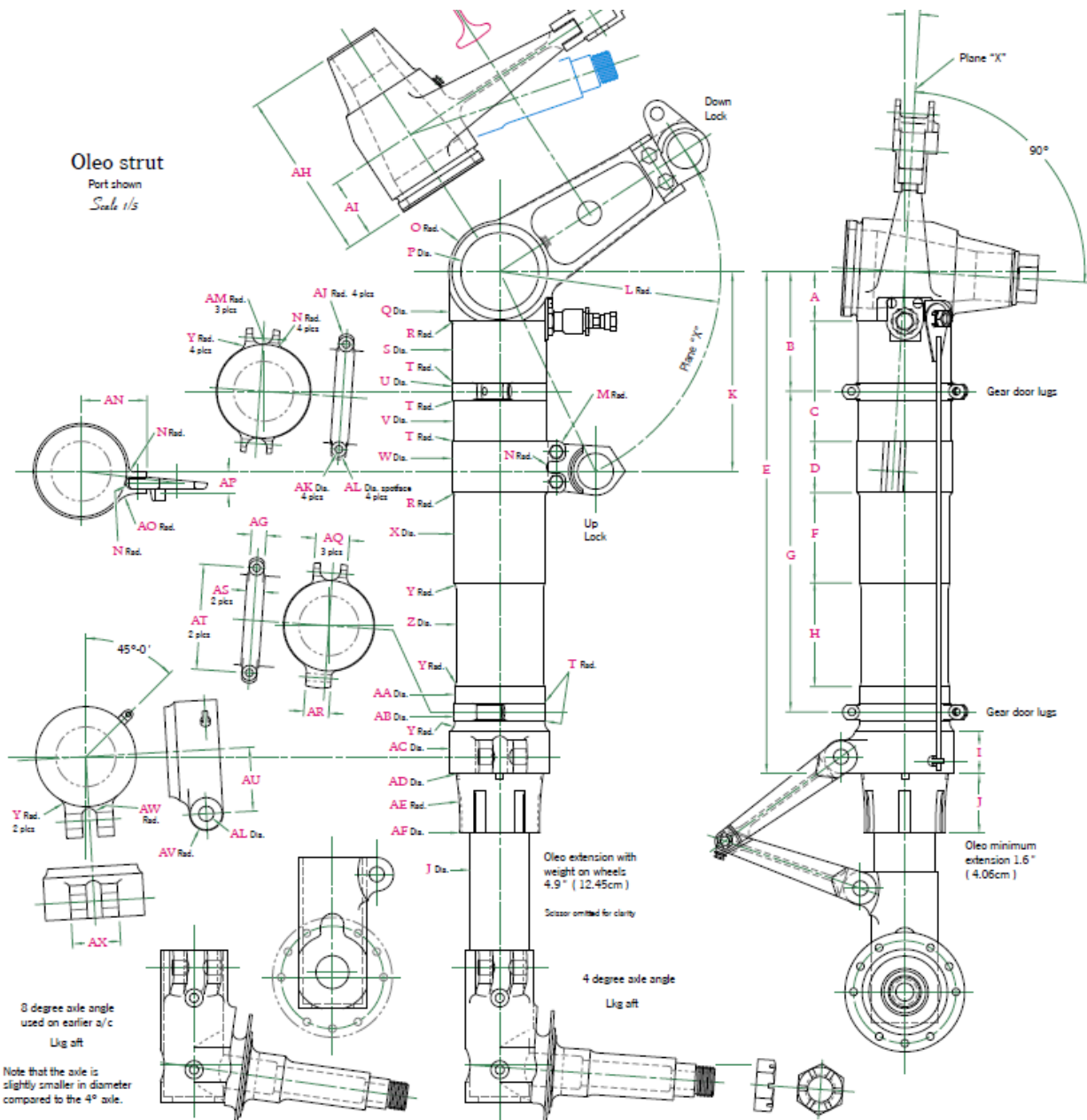


Figura 5-318. Oleo strut: plano

Quizás se trate de la pieza más compleja y, como tal, más difícil de modelar. La dividimos en dos partes: Port oleo strut y Port axle fitting (la pieza de la parte inferior, es decir, la que vemos en la esquina inferior izquierda de la Figura 5-318).

La primera de ellas se trata de una pieza que dividimos en diferentes cuerpos que unimos entre ellos hasta con tres operaciones booleana *Union trim*.

El primero de estos cuerpos se modela con sucesivas operaciones *Pad* (hasta en once ocasiones), *Multi-sections Solid* (dos) y una operación *Pocket* (más algunas operaciones de redondeo por *Edge Fillet*).

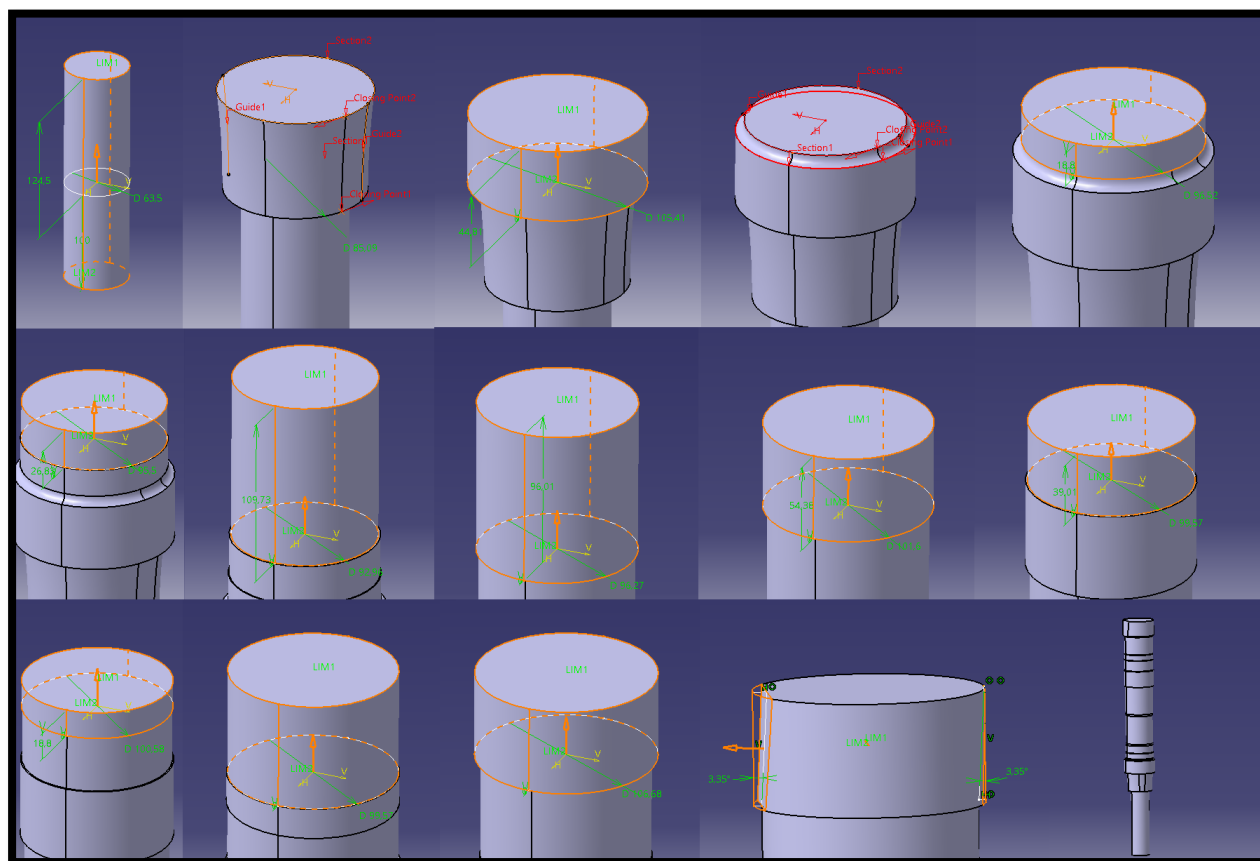


Figura 5-319. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la primera pieza

Una vez realizada esta primera pieza, pasamos al modelado de la segunda para lo que añadimos un nuevo cuerpo que tras ser finalizado acoplamos al resto de la estructura por *Union trim*. Este cuerpo se diseña mediante dos operaciones *Pad* y dos *Multi-sections Solid* y una vez unido le siguen dos operaciones *Pocket* y una *Removed Multi-sections Solid* para el correcto vaciado de la estructura que nos ocupa.

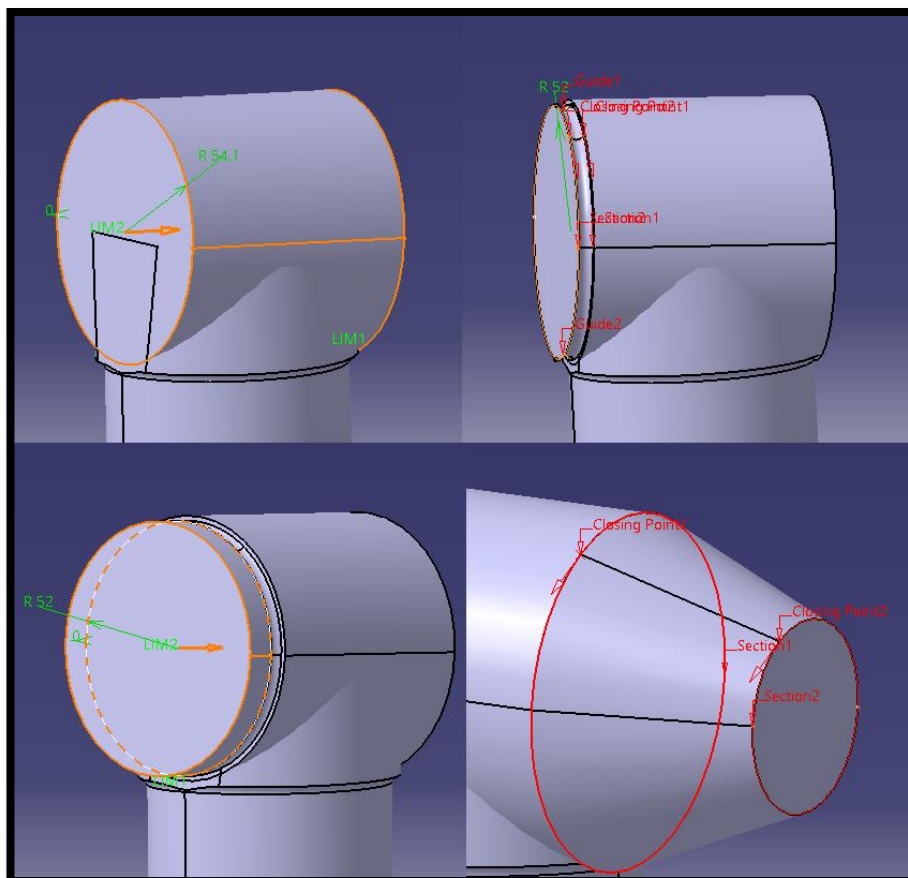


Figura 5-320. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la segunda pieza

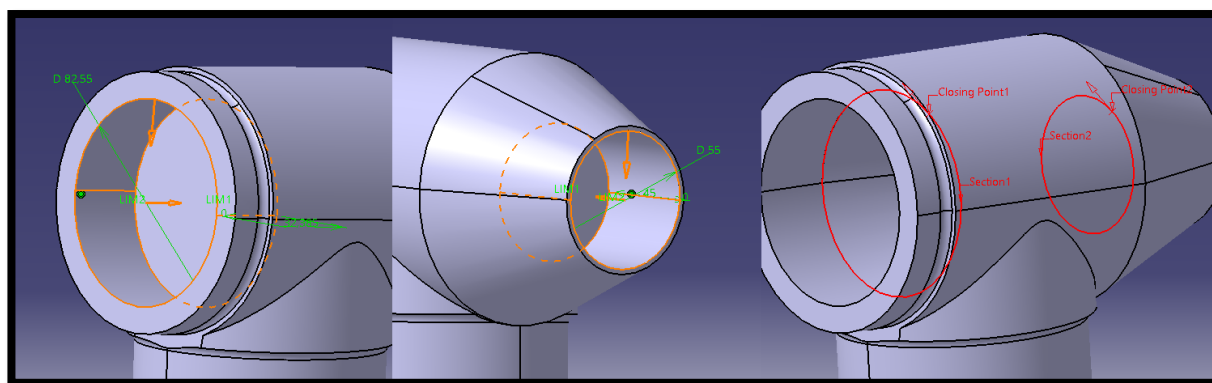


Figura 5-321. Port oleo strut: vaciado de las superficies

Añadimos ahora el tercer cuerpo que se trata de la pieza que sobresale en la parte superior. Para su modelado mostraremos igualmente la secuencia de operaciones: tres *Pad* y cuatro *Pocket*.

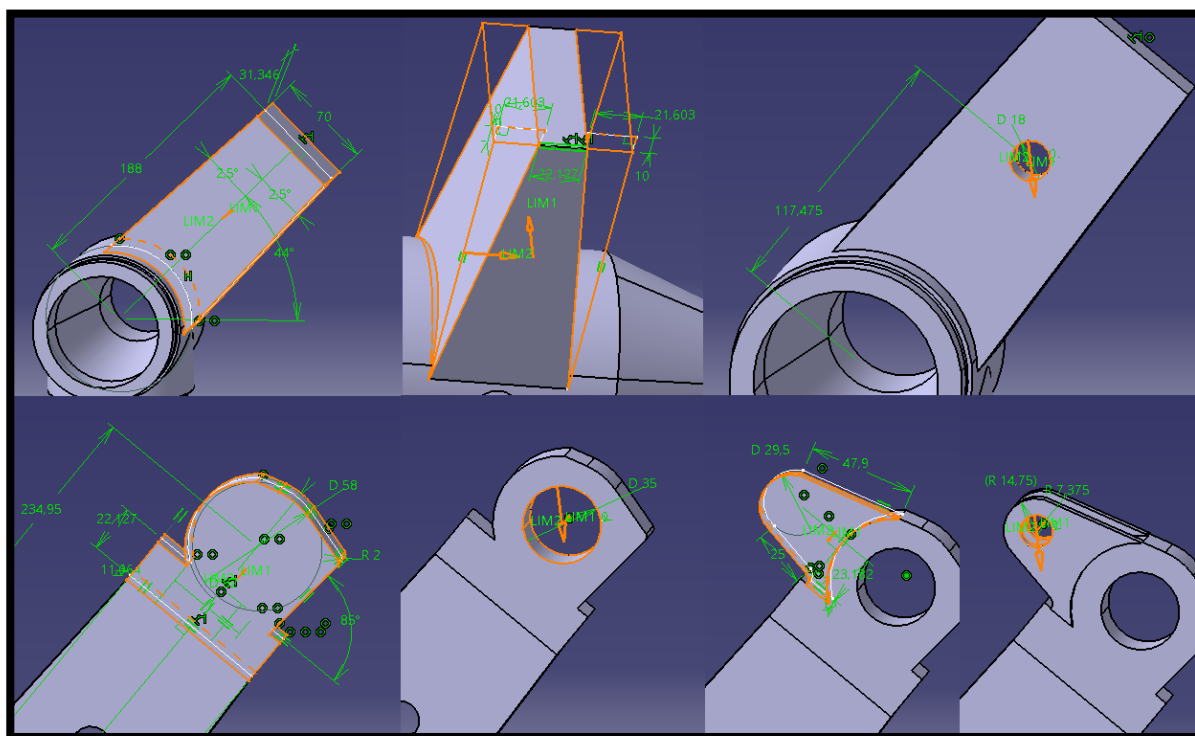


Figura 5-322. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la tercera pieza

Para finalizar, añadimos el cuarto y último cuerpo que es una parte importante del sistema amortiguador acoplado en el tren (sirve de sujeción para el brazo articulado que permite el movimiento de avance longitudinal del Port axle fitting sobre el Port oleo strut).

La secuencia de operaciones en este caso es más simple, un *Pad* más dos *Pocket*.

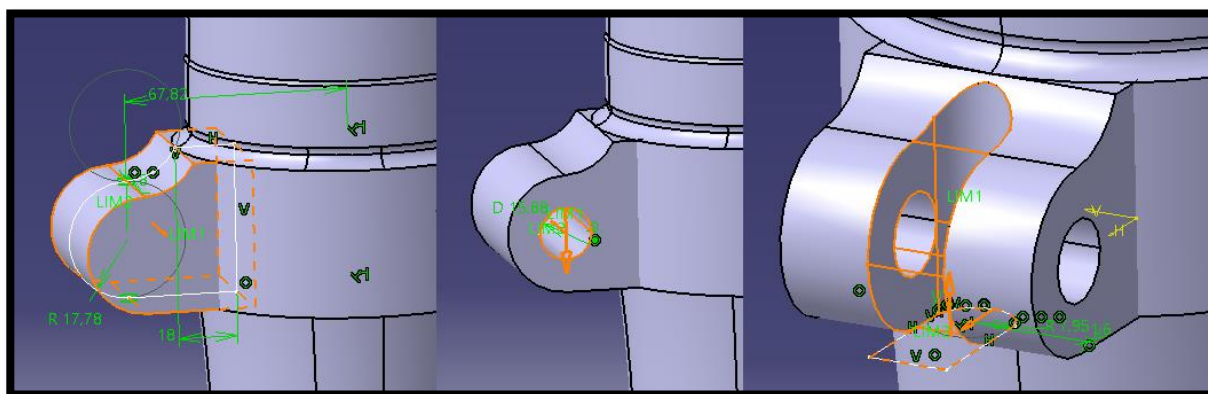


Figura 5-323. Port oleo strut: secuencia de operaciones para la obtención de la cuarta pieza

De esta manera, damos por finalizada la pieza Port oleo strut y pasamos al modelado de Port axle fitting. En esta ocasión hacemos uso de dos operaciones *Union trim* para acoplar estructuras a un primer cilindro vertical de diámetro 71.88 mm y longitud 160.53 mm.

El primer cuerpo que añadimos al *PartBody* se obtiene mediante la cadena de operaciones que sigue: seis *Pad* más dos *Multi-sections Solid*.

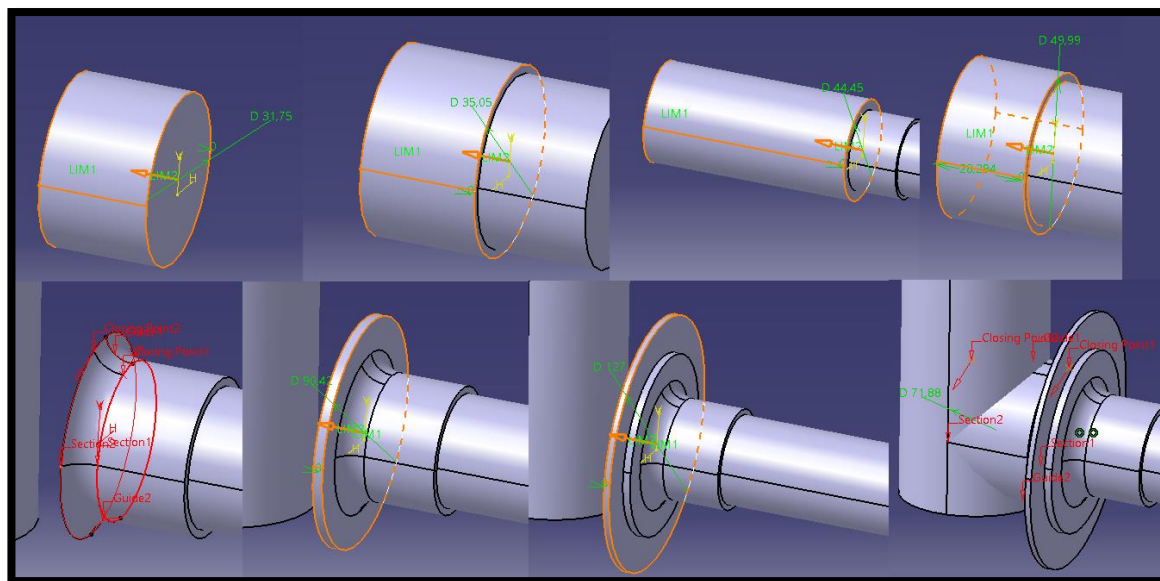


Figura 5-324. Port axle fitting: secuencia de operaciones para la obtención de la primera pieza

Como continuación, añadimos un nuevo cuerpo cuyas características y función son iguales a las de la cuarta pieza de Port oleo strut. Por tanto, queda completado mediante tres operaciones: *Pad* más dos *Pocket*.

Para finalizar realizamos el vaciado sobre la estructura completa mediante cinco operaciones *Pocket*.

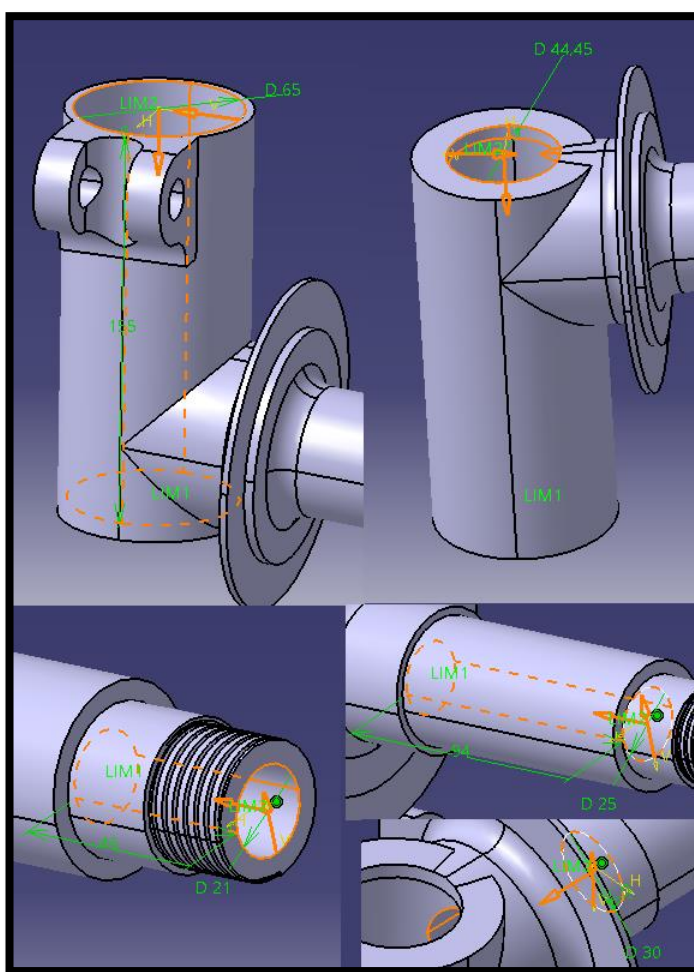


Figura 5-325. Port axle fitting: secuencia de operaciones Pocket para finalizar el componente

5.6.2.2 Port pintle

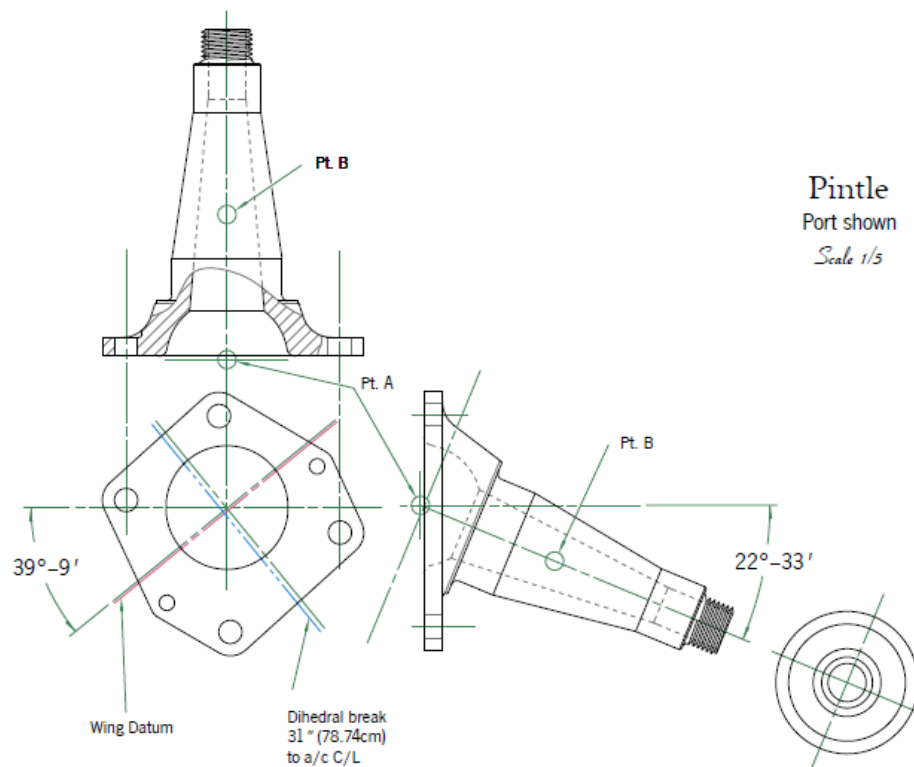


Figura 5-326. Port pintle: plano

Para el modelado de esta pieza observaremos que hacemos pequeñas modificaciones con respecto a los planos originales, especialmente en la base que sirve como sujeción y que en los planos se corresponde con la vista inferior izquierda.

Para modelarla hacemos uso de nueve operaciones: cinco *Pad*, dos *Multi-sections Solid* y dos *Pocket*. Mostramos a continuación el proceso mediante imágenes explicativas.

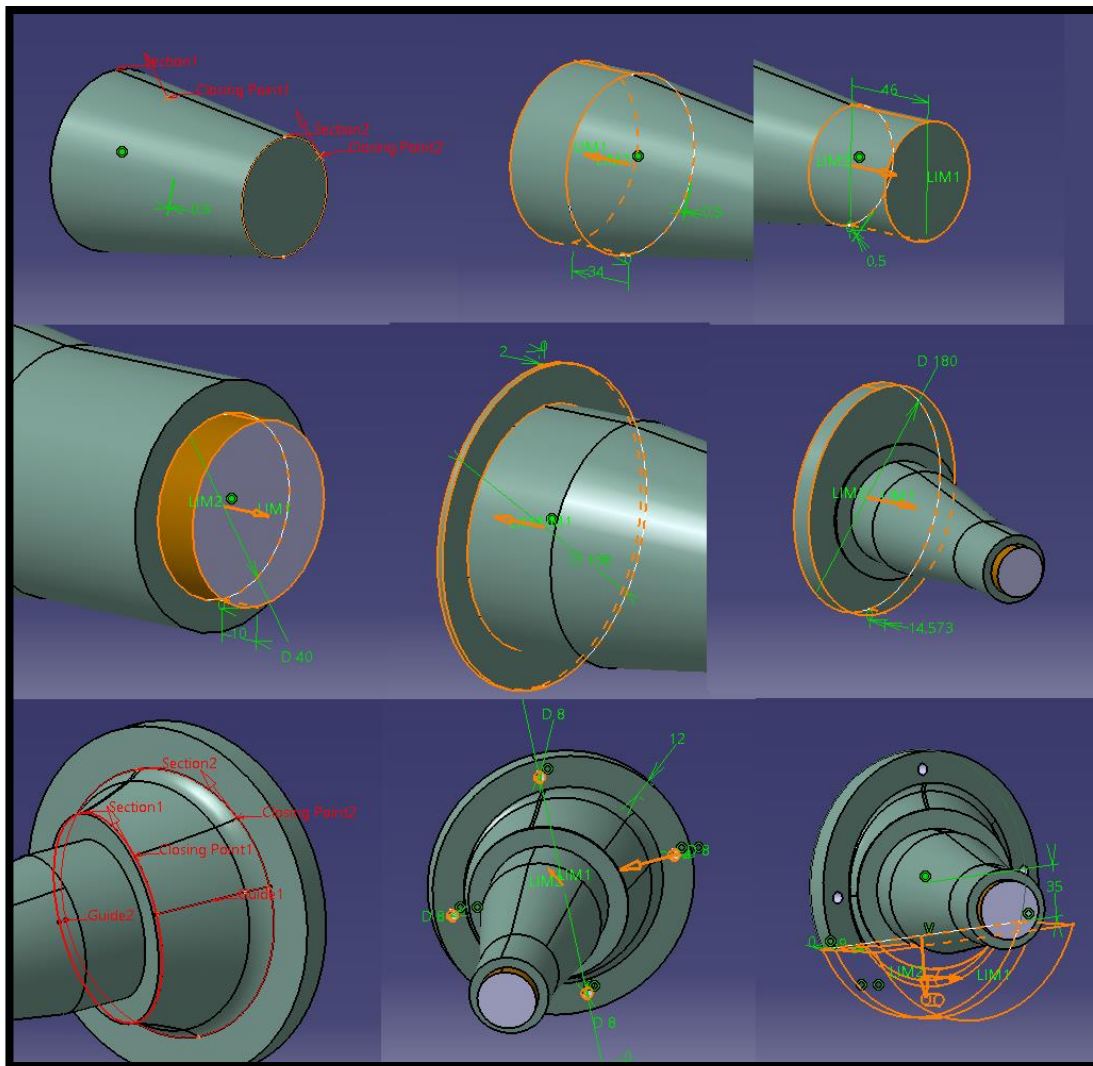


Figura 5-327. Port pintle: secuencia de operaciones para la obtención de la pieza final

Como podemos observar, el último vaciado que se le realiza a la pieza (al igual que la propia base donde se encuentran los taladros) no va acorde a las pautas que nos marca el libro. No obstante, esto se hace con el fin de simplificar la superficie que se modela asegurando, mediante este corte, que no haya colisión algunas con partes funcionales del ala.

5.6.2.3 Rueda

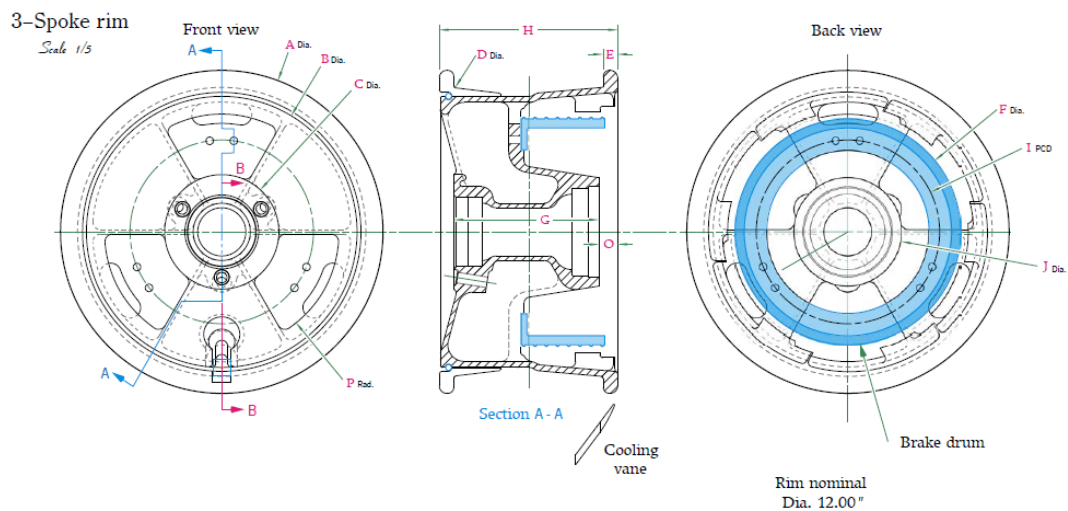


Figura 5-328. Rueda tren de aterrizaje retráctil: plano llanta

A la hora de realizar la llanta se nos ofrecen varias alternativas entre los diferentes tipos que se han ido usando a lo largo de la vida útil del avión. De entre todos estos tipos nos quedamos con la opción 3-Spoke rim (3 radios) debido a la mayor precisión y comprensión de sus vistas (Figura 5-329).

La pieza en su totalidad se construye con simples operaciones *Pad* y *Pocket* intercaladas.

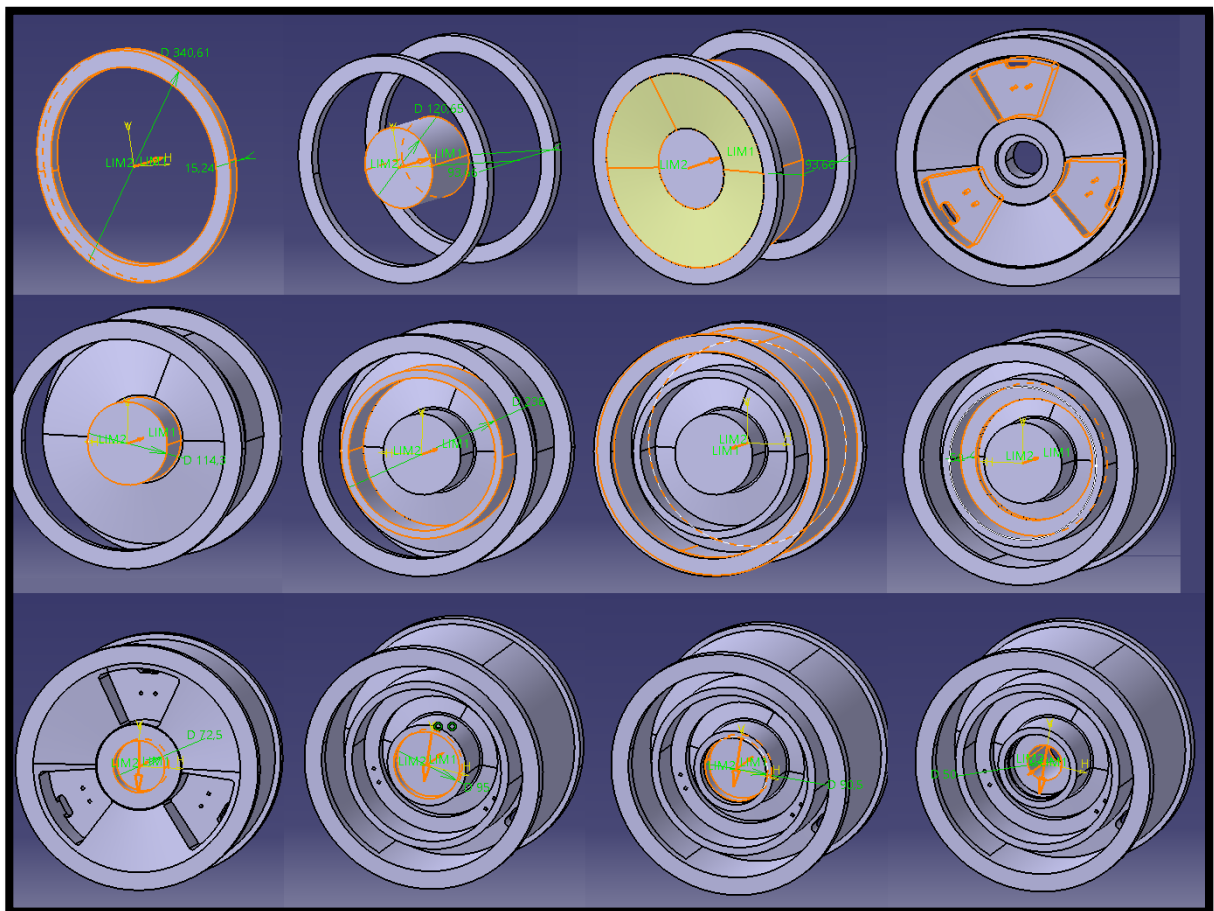


Figura 5-329. Rueda tren retráctil: sucesión de operaciones para la llanta

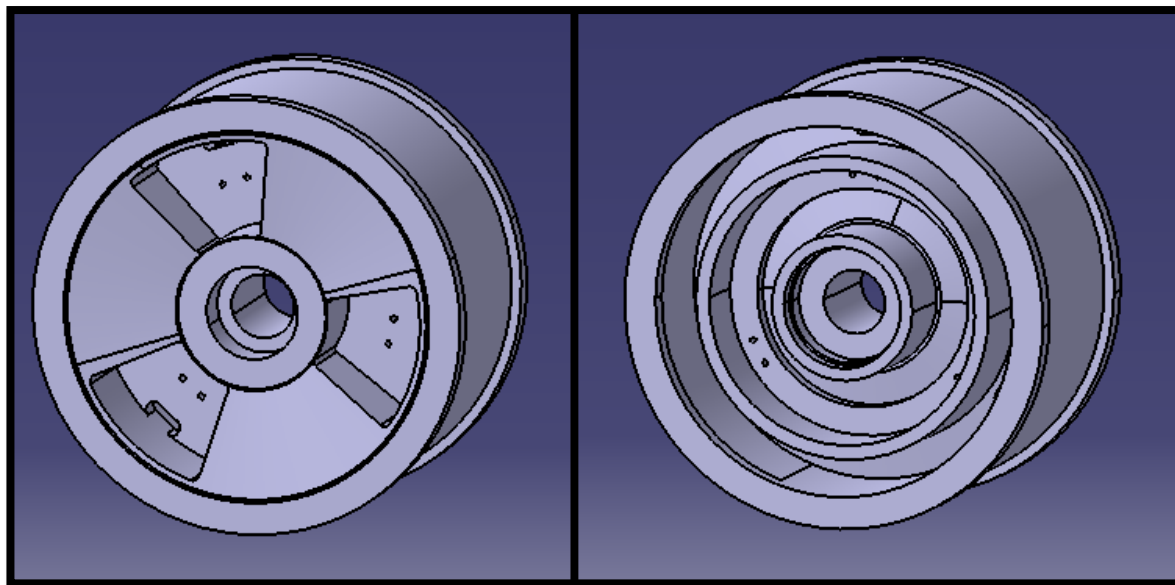


Figura 5-330. Rueda tren retráctil: llanta finalizada

Pasamos ahora al modelado del neumático.

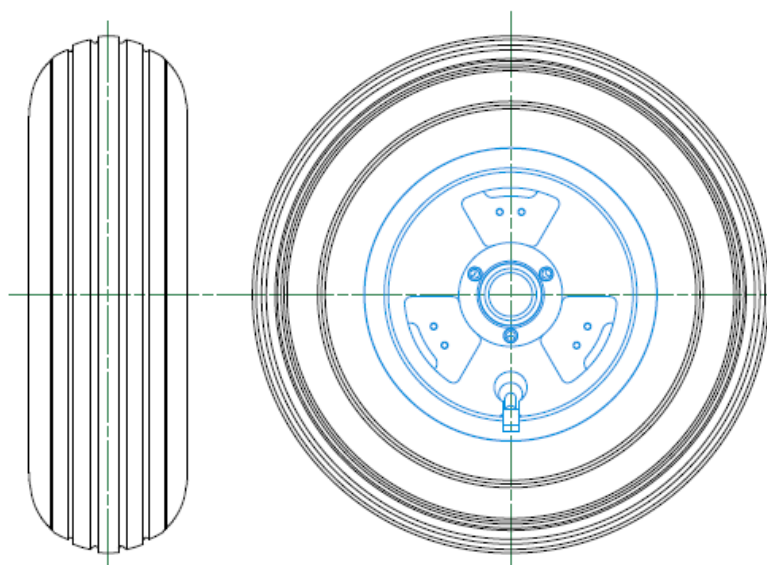


Figura 5-331. Rueda tren de aterrizaje retráctil: plano neumático

Se trata a grandes rasgos de la extrusión de una circunferencia de 625 mm de diámetro, que posteriormente redondeamos y vaciamos con *Slot* para hacer las marcas exteriores.

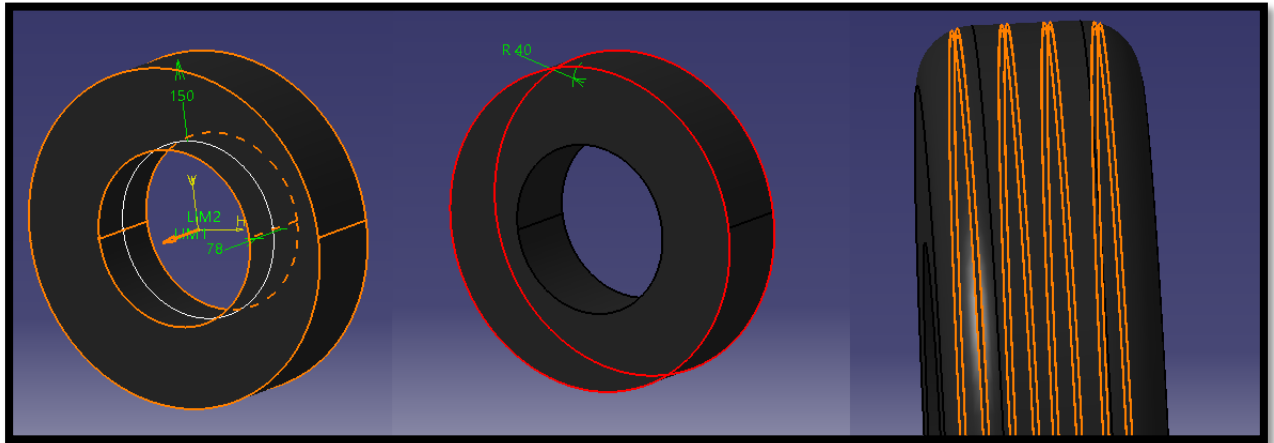


Figura 5-332. Rueda tren retráctil: neumático finalizado

5.6.2.4 Recubrimiento tren retráctil

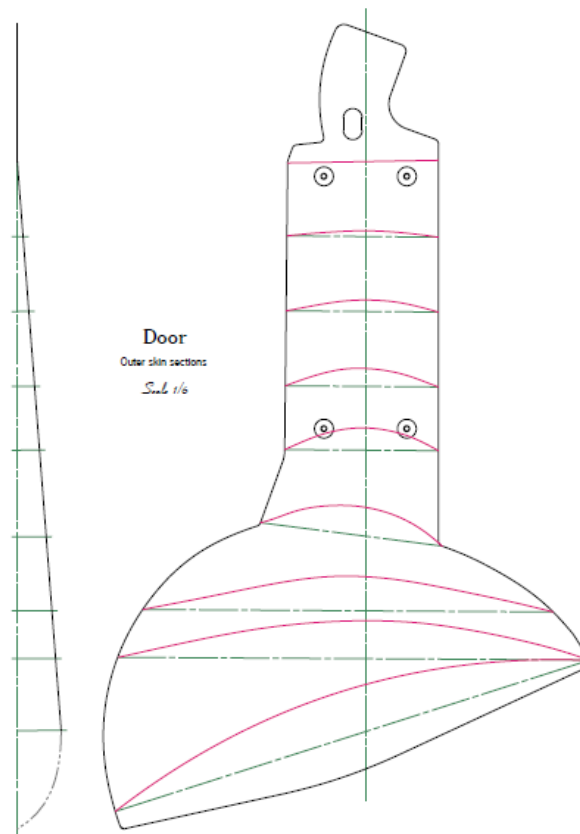


Figura 5-333. Recubrimiento tren retráctil: plano

Para realizar el recubrimiento metálico de la rueda, nos basamos en los planos anteriores. No obstante, no seremos muy estrictos a la hora de seguirlos, puesto que no contamos con cotas para completarlo. De ahí que el modelado de esta pieza se base más en mantener la forma que atesora en la realidad, cumpliendo su función de forma correcta.

Para empezar realizamos un perfil con las características que se muestran a continuación, para posteriormente realizar la extrusión por *Pad* y el conveniente vaciado por *Pocket*.

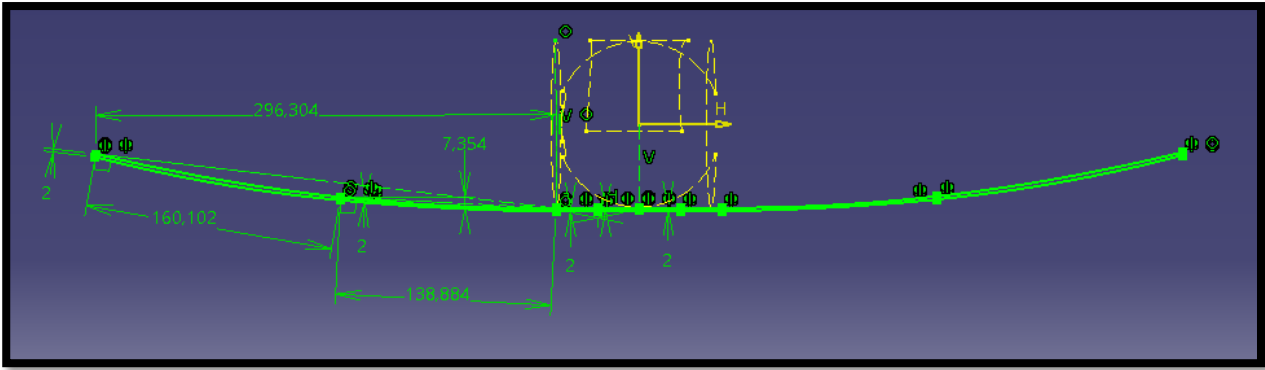


Figura 5-334. Recubrimiento tren retráctil: Sketch de la forma en planta

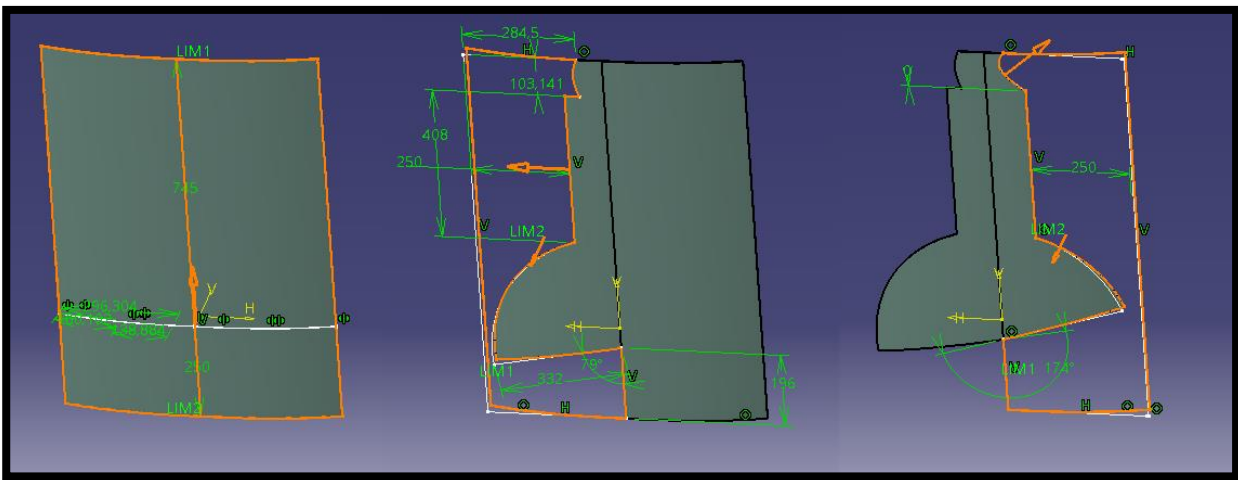


Figura 5-335. Recubrimiento tren retráctil: sucesión de operaciones para obtener la pieza final

5.6.2.5 Resultado final

Como veremos en las imágenes a continuación, a pesar de las simplificaciones que se han realizado, el nivel de detalle con el que se modela este componente, así como el resultado obtenido, es muy bueno. Debemos unir los componentes respetando los grados de libertad (recordemos que la única pieza totalmente fija es la conocida como Port pintle).

Como comentario añadir que las imágenes reales con las que comparamos son para rueda 4-Spoke rim, de ahí que llanta y neumático no sean iguales.

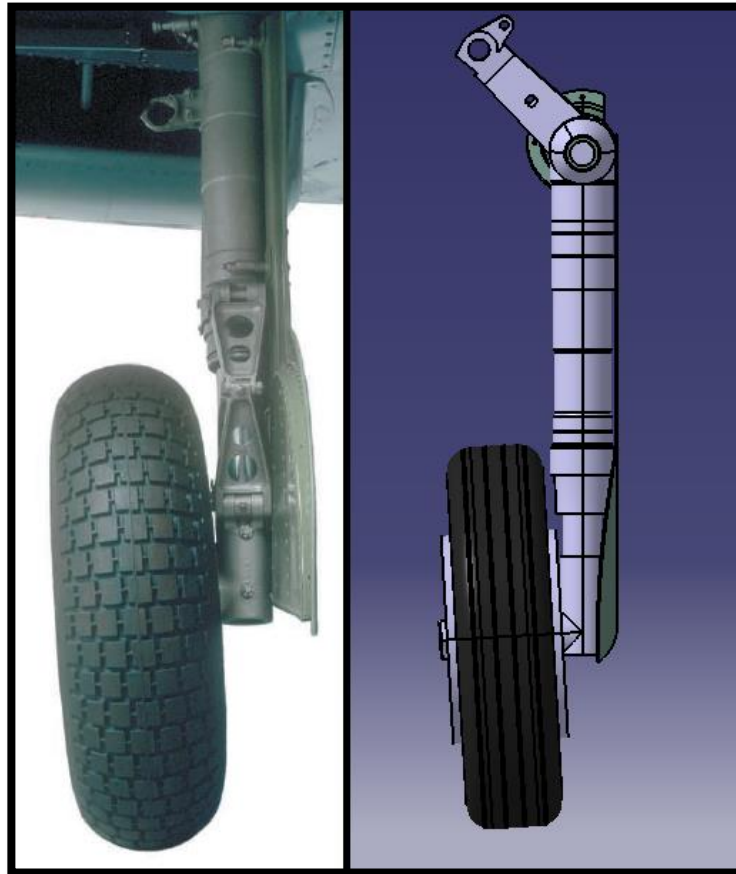


Figura 5-336. Tren de aterrizaje retráctil: comparación entre imagen real y nuestro modelo

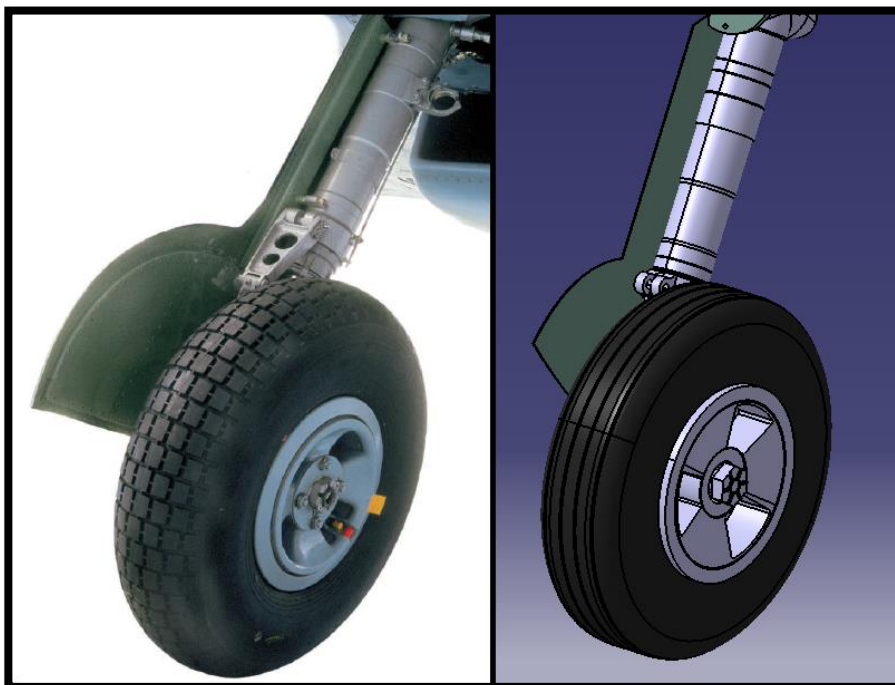


Figura 5-337. Tren de aterrizaje retráctil: comparación entre imagen real y nuestro modelo

6 RESULTADO FINAL

En este capítulo mostramos el resultado final del proceso de modelado y recreación virtual del Spitfire Mk IX. Para ello hacemos uso del módulo *Infrastructure/Photo Studio* y la operación *Render*.

Cabe destacar que previamente a la realización de estas capturas, procedemos a aplicarle material a las superficies externas del avión. Para ello, creamos una librería de materiales y un material nuevo (la librería por defecto de CATIA no se puede modificar). Este material lo creamos a partir de una textura basada en la siguiente imagen:

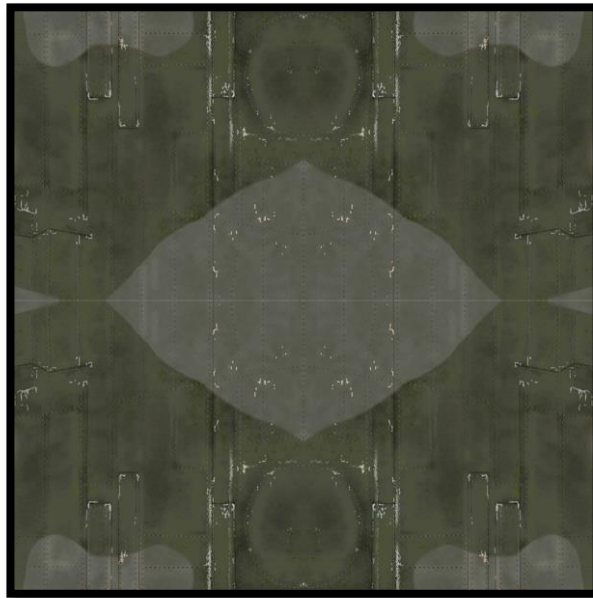


Figura 6-1. Textura del material creado

También para ofrecer mayor realismo añadimos detalles coloridos como banderas y superficies similares a dianas, a lo largo de la cubierta exterior. Lo hacemos mediante el uso del módulo de superficies de CATIA, añadiendo nuevos elementos que simplemente se adaptan a la superficie externa y a los que se le aplica color.

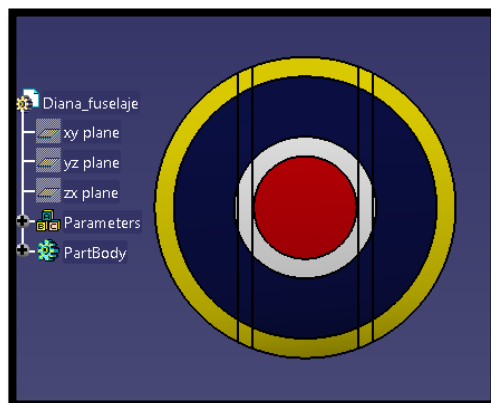


Figura 6-2. Muestra de detalles del fuselaje

Para ver la precisión del trabajo compararemos con imágenes reales del avión con perspectiva similar y en escenarios parecidos a los que CATIA nos ofrece.



Figura 6-3. Render vistas Spitfire



Figura 6-4. Spitfire real 1



Figura 6-5. Spitfire CATIA 1



Figura 6-6. Spitfire real 2



Figura 6-7. Spitfire CATIA 2



Figura 6-8. Spitfire real 3



Figura 6-9. Spitfire CATIA 3

7 CONCLUSIONES

Para finalizar este documento procedemos a exponer las conclusiones que hemos sacado de la realización del mismo. Así, este capítulo se puede apreciar como un resumen que servirá de apoyo para todo aquel que pretenda continuar con el modelado del avión.

Lo primero que hemos de decir es que, como comentábamos en los primeros apartados, se trata de un trabajo muy complejo, de manera que para abarcarlo en su totalidad se necesitarían varios ingenieros trabajando en las diferentes disciplinas que componen el avión.

Esta complejidad a su vez nos da la oportunidad de aprender mucho acerca del manejo del software de modelado digital CATIA y su versatilidad. Queda claro que este programa, que surge casi de la mano del mundo de diseño aeronáutico, es óptimo para este tipo de tareas, ya que nos ofrece gran multitud de herramientas con las que modelar cualquier tipo de sólido o superficie que se nos ocurra.

Aunque en general quedamos muy satisfechos con el trabajo realizado, podemos hacer hincapié en el hecho de que existen diferentes partes que se podrían haber modelado con mayor nivel de detalle o de una forma más fiel a la realidad, siempre y cuando hubiésemos dispuesto de tiempo y un mayor conocimiento tanto del avión como del software usado.

No obstante, nos marcamos como objetivo la recreación del avión con la máxima precisión posible en concordancia con los recursos disponibles, por lo que consideramos que el objetivo se ha cumplido. Las mayores dificultades que hemos encontrado han sido, en cuanto a la información, la interpretación de los planos y la búsqueda de documentación fotográfica para complementarlos y, en cuanto a CATIA, el uso del módulo de superficies.

También presentábamos como objetivos del trabajo la exposición correcta de las herramientas utilizadas y el proceso de modelado en CATIA y una investigación acerca del Spitfire. El primero se abarca en el apartado 5 del trabajo amplia y detalladamente, mientras que el segundo se expone en el apartado 4.

En relación con esto último, también podemos destacar la labor que hace el trabajo como fuente de información de la Segunda Guerra Mundial, especialmente en cuanto al mundo de la aviación, batallas históricas y anécdotas que implican directamente al papel que desarrolla en el conflicto el caza británico Supermarine Spitfire.

Para concluir, aunque se trata de un trabajo muy completo, exponemos las líneas de mejora o ampliación que se le podrían aplicar:

1. Mejorar modelo: Refinar todos aquellos detalles que son susceptibles de mejora.
2. Modelado del grupo motor.
3. Modelado del armamento.
4. Modelado de los sistemas mecánicos que controlen las superficies de control, trenes de aterrizaje, armamento, etc.
5. Recreación del sistema eléctrico.
6. Estudio estructural de la aeronave en software de elemento finito.
7. Estudio aerodinámico de la aeronave.

8 BIBLIOGRAFÍA

[1] Paul H. Monforton, « **Spitfire Mk. IX & XVI Engineered** » Libro, 2008.

Base principal de nuestro trabajo. Lo adquirimos por unos 25 €.

[2] Scott T. Hards, « **Aero Detail 27 Vicker-Supermarine Spitfire Mk V-XVI** » Libro, 2000.

[3] Robert Humpheys, « **SAM Modellers - The Supermarine Spitfire** » Libro, 2000.

[4] Davis Glen, « **Spitfire in my Workshop** » Web (<http://www.spitfireinmyworkshop.net/>)

También dispone de un libro que cuesta unas 40 libras. No lo adquirimos.

[5] David Harvey, « **Aussie Modeller International** » Web (<http://www.aussiemodeller.com.au/index.html>)

[6] Davis Glen, « **Airframe Assemblies** » Web (<http://www.airframes.co.uk/default.aspx>)

[7] « **The Kent Spitfire** » Web (<https://www.kentspitfire.co.uk/index.html>)

[8] « **Biggin Hill Heritage Hanger** » Web (<http://www.bigginhill-history.co.uk/spitfires.htm>)